

**Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

№ 2 (22)

**Івано-Франківськ
2020**

Науково-технічний журнал
Засновник: Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу (ІФНТУНГ)
Заснований у 2010 році, виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР – д-р техн. наук **О. М. Мандрик** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – д-р техн. наук **Л. М. Архипова** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

д-р техн. наук **Я. О. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р геол.-мінерал. наук **О. М. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **В. В. Вамболь** (Національний університет цивільного захисту України, м. Харків);
д-р техн. наук **Г. В. Кошлак** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **І. М. Петрушка** (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів);
д-р техн. наук **Л. Я. Побережний** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **М. С. Полутренко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Я. М. Семчук** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Л. Є. Шкіца** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р філ. **Алаа Ель Дін Махмуд** (Центр енергетики та хімії навколишнього середовища, Університет Фрідріха-Шиллера, м. Єна, Німеччина; Олександрійський університет, факультет науки, м. Олександрія, Єгипет);
д-р наук **Мірела Ана Коман** (Технічний університет Клуж-Напока, м. Бая-Маре, Румунія);
д-р наук **Даріуш Чишевський** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Єва Кмієцик** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Мохаммад Нафес** (Університет Пешавара, м. Пешавар, Пакистан);
д-р філ. **Предраг (Міодраг) Живкович** (Університет Ніш, м. Ніш, Сербія);
д-р філ. **Елена Попович-Чоржевич** (Белградський університет, м. Белград, Сербія);
д-р філ. **Аль-Халиди Хадіджа Абис Хмуд** (Університет Аль-Кадісія, м. Аль-Діванія, Ірак).

Свідоцтво про державну реєстрацію у Міністерстві юстиції України КВ № 24321-14161ПР від 02 грудня 2019 р.

Наукове фахове видання України категорії "Б" в галузі технічних наук, що відповідає таким пунктам Переліку наукових спеціальностей:

101 – Екологія;

183 – Технології захисту навколишнього середовища,

(наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 р. №1643)

Адреса редакції: кафедра екології ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Телефон: (0342) 721203; сайт журналу: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

Журнал включено до міжнародних науково метричних баз: EBSCO, ERIH PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

Тексти статей наведені в авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації, вибір, точність наведення та інтерпретацію фактів, цифр, цитат, власних імен та інших відомостей. Передрук статей тільки з дозволу редакції. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Е 45 Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, № 2 (22). – 2020. – 116 с.

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**

ECOLOGICAL SAFETY AND BALANCED USE OF RESOURCES

Scholarly Journal

Issue 2 (22)

**Ivano-Frankivsk
2020**

Scientific and technical journal
Founder: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)
The journal was founded in 2010 and is issued twice a year

EDITOR-IN-CHIEF – Dr. Sc. (Tech.) **O. Mandryk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).
ASSISTANT EDITOR – Dr. Sc. (Tech.) **L. Arkhypova** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).

EDITORIAL BOARD:

Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Geol.& Mineral.) **O. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **V. Vambol** (National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv);
Dr. Sc. (Tech.) **H. Koshlak** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **I. Petrushka** (Lviv Polytechnic National University, Lviv);
Dr. Sc. (Tech.) **L. Poberezhnyi** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **M. Polutrenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Semchuk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **L. Shkitsa** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
PhD **Alaa El Din Mahmoud** (Center for Energy and Environmental Chemistry, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany; Alexandria University, Alexandria, Egypt);
Dr. Sc. **Mirela Ana Coman** (North University Centre of Baia Mare – Technical University of Cluj-Napoca, Baia Mare, Romania);
Dr. Sc. **Dariusz Ciczwwski** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);
Dr. Sc. **Ewa Kmiecik** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);
Dr. Sc. **Mohammad Nafees** (University of Peshavar, Peshavar, Pakistan);
PhD **Predrag (Miodrag) Zivkovic** (University of Nis, Nis, Serbia);
PhD **Jelena Popovic-Gjordjevic** (University of Belgrade, Belgrade, Serbia);
PhD **Khadeeja Abees Hmood Al-Khalidy** (University of AL-Qadisiyah, Al-Diwaniyah, Iraq).

The Certificate of State Registration in the Ministry of Justice of Ukraine KV No.24321-14161PR of December 02, 2019.

Ukraine scientific professional journal of category "B" in the field of technical sciences, which corresponds to the following specialties:

101 – Ecology;

183 – Environmental technologies,

(Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated December 28, 2019 No. 164)

Editorial office address: the Department of Ecology of IFNTUOG, 15 Karpatska str., Ivano-Frankivsk, 76019.

Phone: +380342721203; website of the journal: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

The journal has been included in international scientific metric databases: EBSCO, ERIH PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

The authors are fully responsible for the content of the publication, choice and accuracy of the provided and interpreted facts, figures, quotations, proper names and other data. The articles can be reprinted only with permission of the editorial board. The point of view of the editorial board does not always coincide with authors' positions.

E 45 Ecological safety and balanced use of resources : scientific and technical journal / Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG) – Ivano-Frankivsk : IFNTUOG, Issue 2 (22). – 2020. – 116 p.

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	7
<i>Т. А. Ковтун</i> Екологістична система як результат трансформації світоглядної концепції людства на еколого-орієнтований сталий розвиток.....	7
<i>Н. І. Глібовицька, Л. Є. Шкіца</i> Методологія оцінки життєвого стану зелених насаджень в умовах техногенно-трансформованих екосистем.....	19
РЕГІОНАЛЬНІ ТА ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ	25
<i>Х.-М. М. Чичул, Я. М. Семчук, Г. Д. Лялюк-Вітер</i> Оцінка антропогенного перетворення ландшафту в зоні впливу підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго»	25
<i>А. М. Новікова, В. В. Яковлев, Д. В. Дядін</i> Оцінка забезпеченості та доступності ресурсів джерельних вод для населення Харківської області.....	32
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ	41
<i>Н. І. Глібовицька, Л. В. Плаксії</i> Характеристика типів бурових розчинів та їх дія на рослини	41
<i>Г. М. Кривенко</i> Аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря об'єктами нафтогазового комплексу	48
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	58
<i>В. Г. Сінченко</i> Про спектрометрію радіонуклідів Cs-137 і Sr-90 у поверхневих прісних водах та відповідність їх активності допустимим рівням.....	58
<i>Л. М. Архипова, Я. О. Адаменко</i> Екоресурсне забезпечення проектування туристичного комплексу у Рахівському районі Закарпатської області.....	72
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ	83
<i>Л. І. Челядин, В. С. Рібун, В. Л. Челядин</i> Технологічні та екологічні аспекти удосконалення способу отримання біопалив з рослинних олій	83
<i>І. Б. ЗАСІДКО</i> Спосіб отримання біосорбенту та дослідження його характеристик.....	92
<i>Д. В. Кулікова, О. С. Ковров</i> Удосконалення технологічної схеми очистки стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування	97
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....	107
<i>Г. А. Лисак, М.В. Біляк, Н. Є. Панас, О. Т. Мазурак</i> Технології захисту рекреаційних ресурсів Яворівського національного природного парку	107
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	115

CONTENTS

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION 7
T. Kovtun Eco-Logistic System as a Result of the Transformation of the World-View
 Concept of Humanity on Ecologically Oriented Sustainable Development..... 17
N. Glibovytska, L. Shkitsa Assessment Methodology of Green Plantations Vitality in the
 Conditions of Technogenically Transformed Ecosystems 19

REGIONAL AND GLOBAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS..... 25
Kh.-M. Chychul, Ya. Semchuk, H. Lialiuk-Viter Assessment of the Anthropogenic Landscape
 Transformation Within the Area Affected by Burshtynska Thermal Power Plant of PJSC
 «DTEK Zakhidenergo» 30
A. Novikova, V. Yakovliev, D. Diadin Assessment of Spring Water Availability and
 Accessibility for the Population of Kharkiv Oblast..... 39

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY 41
N. Glibovytska, L. Plaksii Characteristics of Drilling Fluids Types and Their Effect on Plants 45
H. Kryvenko Analysis of Greenhouse Gas Emissions into the Atmospheric Air by Oil and
 Gas Complex Objects 56

**ECOLOGICAL MONITORING, FORECASTING AND ASSESSMENT OF THE
 ENVIRONMENT STATE** 58
V. Sinchenko Spectrometry of Radionuclides Cs-137 and Sr-90 in Surface Fresh Waters and
 Conformity of Their Activity to Permissible Levels 70
L. Arkhypova, Ya. Adamenko Eco-Resource Provision of Designing the Tourist Complex in
 Rakhiv District of Zakarpattia Oblast 81

ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES..... 83
L. Cheliadyn, V. Ribun, V. Cheliadyn Technological and Environmental Aspects of
 Improving Biodiesel Production from Vegetable Oils..... 89
I. Zasadko Method for Obtaining Biosorbent and Study of its Properties 96
D. Kulikova, O. Kovrov Improving the Technological Procedure for the Plating Wastewater
 Treatment of Coal Mechanical Engineering Enterprises 104

ENVIRONMENTAL ISSUES OF TOURISM AND RECREATION 107
H. Lysak, M. Biliak, N. Panas, O. Mazurak Protection Technologies of the Recreational
 Resources of Yavoriv National Nature Park 113

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 115

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 502:330

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-7-18

*Т. А. Ковтун**Одеський національний
морський університет*

ЕКОЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА ЯК РЕЗУЛЬТАТ ТРАНСФОРМАЦІЇ СВІТОГЛЯДНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ЛЮДСТВА НА ЕКОЛОГО-ОРІЄНТОВАНИЙ СТАЛИЙ РОЗВИТОК

У статті надається системне уявлення екологістичної системи як результату змін в світогляді людства з техногенного на сталий розвиток. Обґрунтовано доцільність екологізації логістичної діяльності для зменшення екодеструктивного впливу на довкілля. Визначено сутність екологістичної системи та надано її визначення. Під екологістичною системою пропонуємо розуміти логістичну систему як сукупність елементів-ланок, взаємозв'язаних в процесі управління рухом прямих та зворотних логістичних потоків, що враховує екодеструктивний вплив на довкілля.

Надано загальну характеристику екологістичної системи, яка є антропогенною, еколого-економічною, відкритою, складною, багатофункціональною, добре організованою, стохастичною, централізованою, багатомірною, цілеспрямованою системою, що розвивається. Визначено характеристики екологістичної системи, якій властиві загальні характеристики систем, специфічні характеристики логістичних систем, а також індивідуальні: екологічність та замкнутість.

Досліджено еволюцію логістичних систем та логістичних ланцюгів відповідно до етапів розвитку логістики. Проаналізовано внутрішнє та зовнішнє середовище екологістичних систем мікро-, мезо- та макрорівня. На мікрорівні екологістичну систему слід розглядати як підсистему управління підприємством, до складу якого входять функціональні логістичні підсистеми. На мезо- та макрорівні еколого-орієнтована система складається з підсистем – учасників логістичного ланцюга, що приймають участь у просуванні прямого та зворотного матеріальних потоків, а також супутніх потоків. Визначено склад прямих та зворотних (поворотних та рециклінгово-утилізаційних) потоків.

Проаналізовано зовнішнє середовище екологістичної системи, яка, є підсистемою системи більш високого рівня ієрархії, а саме еколого-економічної системи, що входить до антропосфери та біосфери.

Ключові слова: сталий розвиток, екологістична система, мікро-, мезо- та макрологістична система, внутрішнє та зовнішнє середовище системи.

Постановка проблеми. На початку XXI століття проблема нестійкого розвитку сучасної цивілізації набула нового якісного стану та досягла своєї межі. Стало очевидним, що економіка, побудована на принципах технократії і нееквівалентного соціоприродного обміну, не здатна забезпечити довготривалий сталий розвиток людству. Сьогодні біосфера не в змозі боротися з людською діяльністю, в ній почалися незворотні зміни. Людство виробляє відходів органічного походження в 2000 разів більше, ніж вся природа [1]. Вже стало очевидним, що суперечності між постійно зростаючими потребами суспільства і обмеженими можливостями природи ставлять під загрозу подальше існування людини як біологічного виду.

Для зниження навантаження від людської діяльності на навколишнє середовище потрібна зміна техногенного типу розвитку на іншу парадигму. Починаючи з другої половини XX століття відбувається інтенсивний пошук нової стратегії виживання людства в умовах обмеженості природних ресурсів і погіршення природних умов існування. Проблема майбутнього розвитку цивілізації загалом вийшла на передній край наукового пошуку і суспільної свідомості загалом.

Виходом з ситуації, що склалася, визнано застосування концепції сталого розвитку, яка є природньою реакцією світової спільноти на існуючі загрози та передбачає гармонійне

співіснування природи і суспільства, що потребує врахування екологічних і соціальних факторів у всіх сферах життя людини [2].

Логістика як область практичної діяльності вносить свій негативний внесок у стан навколишнього середовища. Останнім часом в якості сучасної концепції логістики застосовується екологічна логістика (екологістика, зелена логістика), яка в рамках концепції сталого розвитку розглядається як ефективний підхід до управління матеріальними та супутніми потоками з ціллю зниження еколого-економічних збитків, що наносяться довкіллю [3,4]. Екологістика сприяє запобіганню та ліквідації наслідків негативного екодеструктивного впливу на довкілля завдяки трансформації логістичних систем, які відповідають сучасній лінійній моделі економіки, в екологістичні системи [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динамічний розвиток логістики як науки та досвід впровадження її принципів в західних країнах дали підстави стверджувати, що логістиці належить стратегічно важливе значення в сучасному бізнесі [6]. Логістика як наука і інструмент бізнесу почала формуватися в середині ХХ століття. Її еволюція тісно пов'язана з історією та еволюцією ринкових відносин у промислово розвинених країнах, причому сам цей термін укорінився і став широко застосовуватися лише з кінця 70-х років [7].

Розвиток та вдосконалення теоретико-методологічних принципів логістики тісно пов'язані з еволюцією логістичної науки, яка відбувалася під впливом процесів інтеграції, інформатизації, глобалізації та екологізації суспільно-економічних відносин [3]. Кожен з періодів формування логістики відрізняється відповідними концептуальними підходами до створення та управління логістичними системами. Серед основних тенденцій розвитку сучасної логістики Дж.С. Джонсон, Д.Ф. Вуд, Д.Л. Вордлоу, П.М. Мерфі-мл. [8] виділяють зростання уваги суспільства до проблем забруднення навколишнього середовища.

Проблемі екологізації логістичної діяльності присвячені праці іноземних і вітчизняних науковців таких, як: Т. Доуї, Р. Данну, А. МакКіннон, Р. Поїст, Ж.-П. Родріго, Д. Роджерс, Р. Тіббу-Лембеке, Д. Уотерс, А.У. Альбекова, В.В. Борисова, Л.М. Зарецька, А.А. Кизим, Н.П. Коропова, І.І. Коблянська, А.Ф. Крячкова, В.П. Мешалкін, Е.В. Мішенін, І.М. Омельченко, Н.В. Пахомова, Л.А. Сосунова, М.Н. Некрасова, Т.Н. Скоробагатова, Д.В. Чернова, А. Тамбовцев, Т. Тамбовцева тощо.

Не дивлячись на значну кількість наукових праць з екологічно-орієнтованого управління в логістиці, що з'явилися останнім часом, в силу новизни напрямку, досить багато питань є невирішеними та потребують вивчення. Актуальним є застосування принципів системного підходу в дослідженні екологістичних систем.

Традиційний системний підхід був розроблений класиками загальної теорії систем Л. фон Берталанфі, У. Ешбі, Н. Вінером, Дж. фон Нейманом та їх послідовниками. Важливим вклад у формування системного підходу вніс А.А. Богданов. Розвиток нових напрямків системної теорії привів до постулювання системної парадигми. Концептуальні основи системної форми організації відображені в працях таких вчених, як Д. Бауерокс, Д. Вордлоу, Д. Вуд, Г. Вунш, Д. Джонсон, Д. Клосс, Р. Робертсон, Ф. Уестер, Р. Хендфілд та ін.

Дослідження системного підходу в визначенні особливостей створення та функціонування логістичних систем присвячені труди багатьох іноземних та вітчизняних дослідників таких, як Л.Б. Міротін, М.Е. Залманова, Д.Т. Новікова, О.А. Новіков, М.П. Гордон, В.А. Козловський, А.Д. Чудаков, М.А. Окландер, А.М. Гаджинський, Ю.М. Неруш, Б.К. Плоткін, А.Л. Смехов, В.І. Сергєєв, А.І. Семененко, Є.В. Крикавський, Н.І. Чухрай, А.Г. Кальченко, К.В. Захаров, М.С. Білик, В.І. Захарченко та ін.

Дослідження системних властивостей екологістичної системи є необхідним, оскільки дозволить глибше визначити сутність даних систем та запобігти помилок в їх проектуванні та подальшому функціонуванні.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження системних властивостей екологістичних систем як результату трансформації світоглядної концепції людства на еколого-орієнтований сталий розвиток. Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- визначити сутність та надати загальну характеристику екологістичної системи;
- проаналізувати внутрішнє середовище екологістичної системи;
- проаналізувати зовнішнє середовище екологістичної системи.

Виклад основного матеріалу. Загальна характеристика екологістичної системи.

Сьогодні визначення поняття «система» не обмежується лише теоретичними дослідженнями, але має цілком прикладний аспект. «Система» має досить широке трактування – від канонічного «сукупність елементів, що знаходяться в певних відношеннях один з одним» [9] до еволюційного – «система – структура фундаментальних елементів (одиниць), яка здатна до саморозвитку (автоevolюції) шляхом необмеженої послідовності криз, що чергуються, поліфуркацій та аттракцій [10].

Не дивлячись на суттєві відмінності у трактуванні поняття, існують базові властивості, якими повинна володіти кожна система:

- система – це цілісний комплекс взаємозв’язаних елементів;
- система створює єдність з середовищем;
- будь-яка система являє собою елемент системи вищого порядку;
- елементи системи зазвичай виступають як системи більш низького порядку [11].

Базовим поняттям в логістиці виступає логістична система, яка відповідає загальноприйнятому визначенню системи, оскільки складається із системоутворюючих елементів (підсистем, ланок), що тісно взаємопов’язані та взаємозалежні між собою, відособлені від навколишнього середовища, з яким також мають зв’язки.

Загальною властивістю логістичної системи є її уявлення як системи, що відрізняється високим ступенем інтеграції її елементів та процесів з ціллю управління наскрізними матеріальними та супутніми потоками. Елементи логістичної системи утворюють певну структуру із задалегідь заданими властивостями та визначеними цілями. Крім того, логістична система є елементом системи вищого рівня – економічної системи в ієрархії систем.

До теперішнього часу не існує однозначного тлумачення змісту поняття «логістична система». Не дивлячись на велику кількість визначень логістичної системи, які уточнюються з розвитком логістики як науки, лише в деяких з них відображається зв’язок її елементів з зовнішнім середовищем [12-16] (табл. 1).

Таблиця 1

Визначення «логістичної системи», що враховують зв’язок з навколишнім середовищем

<i>Визначення «логістичної системи»</i>
<i>Сумець А.М.</i> [12] Адаптована (самоналагоджувана та самоорганізована) система з оберненим зв'язком, що виконує логістичні функції та логістичні операції і складається, зазвичай, із декількох систем та має розвинуті зв'язки із зовнішнім середовищем.
<i>А. Уваров</i> [13] Система являє собою упорядковану структуру, в якій здійснюється планування і реалізація руху і розвитку сукупного ресурсного потенціалу, організованого у вигляді логістичного потоку, починаючи з відчуження ресурсів у навколишнього середовища і до реалізації кінцевої продукції.
<i>Усманова С.Б.</i> [14] Складна, динамічна, відкрита для взаємодії із зовнішнім середовищем, впорядкована система управління скрізними економічними потоками, створена з метою оптимізації використовуваних в потоці ресурсів.
<i>А. Родніков</i> [15] Адаптивна система із зворотнім зв'язком, яка виконує ті або інші логістичні функції, що складається, як правило, із декількох підсистем та має розвинуті зв'язки із зовнішнім середовищем.
<i>Є. Крикавський</i> [16] Адаптивна система із зворотнім зв'язком, що виконує ті чи інші логістичні функції і операції, складається, переважно, з декількох підсистем і має досить розвинуті зв'язки із зовнішнім середовищем

З наведених визначень найбільш еколого-орієнтованим є визначення А. Уварова [13], в якому враховується факт відчуження ресурсів у навколишнього середовища, але не вказується про необхідність повернення відпрацьованого продукту та матеріалів в природу з найменшим екодеструктивним впливом.

Врахування екологічного аспекту в логістиці призвело до виникнення нового поняття «еколого-орієнтована логістична система» або «екологістична система». Під **екологістичною системою** (ЕЛС) пропонуємо розуміти логістичну систему як сукупність елементів-ланок,

взаємозв'язаних в процесі управління рухом прямих та зворотних логістичних потоків, що враховує екодеструктивний вплив на довкілля.

Основним завданням логістичної системи є виконання «семи правил логістики» – доставити необхідну продукцію з відповідними кількісними та якісними характеристиками, в необхідне місце та необхідний час, певному споживачеві, з певним рівнем витрат [17]. Зміна логістичної парадигми на екологістичну призвела до того, що до основних «семи правил логістики» додалися ще два: дотримання мінімального рівня споживання ресурсів та здійснення мінімального екодеструктивного впливу на навколишнє середовище. Просування матеріальних потоків з виконанням цих «дев'яти правил екологістики» є ціллю створення та функціонування ЕЛС (рис.1).



Рис. 1. Правила екологічної логістики

ЕЛС, як будь-яка система, має наступні властивості: цілісність, подільність, організованість, структурованість, інтегративність, емерджентність, цілеспрямованість. Крім того, ЕЛС характерні властивості, типові для логістичних систем: складність, відкритість, стохастичність, гетерогенність та багатофункціональність, динамічність та адаптивність. У ЕЛС є також специфічні характеристики, а саме: екологічність, замкнутість (табл. 2).

Таблиця 2

Системні властивості екологістичної системи

Властивість	Характеристика
<i>Загальні системні властивості</i>	
– цілісність та подільність	ЕЛС є цілісною сукупністю елементів (ланок, підсистем), що взаємодіють один з одним для досягнення загальної цілі та відрізняються в залежності від рівня: мікро-, макрологістична система. На мікрорівні елементами ЕЛС є функціональні підрозділи логістики організації, включаючи підрозділ, що відповідає за реверсивну логістику. На макрорівні ЕЛС представлена підприємствами – учасниками логістичних ланцюгів.
– організованість та структурованість	Елементи ЕЛС організовані та структуровані в певному порядку, що дозволяє просувати матеріальні (прямі та зворотні) та супутні потоки.
– інтегративність та емерджентність	Елементи ЕЛС відрізняються високим ступенем інтеграції, що дозволяє отримати нові якості, не притаманні окремим елементам системи. Наприклад, організувати замкнутий логістичний ланцюг з участю зворотних матеріальних потоків.
– цілеспрямованість	Кожна складова ЕЛС орієнтована на досягнення загальної цілі – просування матеріальних потоків з виконанням «дев'яти правил екологістики».
<i>Типові властивості логістичної системи</i>	
– складність	ЕЛС складається з великої кількості учасників, між якими встановлюються складні зв'язки, які дозволяють створити замкнуті логістичні ланцюги.
– відкритість	Межі ЕЛС майже проникні в матеріальному, енергетичних та інформаційних потоків.
– стохастичність	Параметри ЕЛС мають ймовірнісний характер.

– гетерогенність та багатофункціональність	Елементи ЕЛС мають різноманітні властивості та виконують різноманітні логістичні функції.
– динамічність та адаптивність	З часом ЕЛС можуть змінювати свій якісний та кількісний стан, адаптуючись до змін у навколишньому середовищі.
– наявність потоків	Ціллю створення ЕЛС є забезпечення руху матеріальних (прямих та зворотних) і супутніх потоків.
<i>Специфічні властивості екологістичної системи</i>	
– екологічність та замкнутість	Функціонування ЕЛС спрямовано на зменшення екодеструктивного впливу на довкілля завдяки зменшенню споживання первинних природних ресурсів та збільшенню вторинних матеріальних ресурсів, що приймають участь у зворотних процесах циркулярної економіки.

Екологістичній системі властиві певні класифікаційні характеристики, ідентифікація яких дозволяє глибше зрозуміти сутність даного виду систем (табл. 3).

Таблиця 3

Класифікаційна приналежність екологістичної системи

Класифікаційна ознака	Види систем	Вид екологістичної системи
– за способом утворення	природні, штучні, змішані	змішана еколого-економічна
– за об'єктивністю існування	реальні, абстрактні	реальна (антропогенна)
– за сутністю	космічні, біологічна, технічна, соціальна, економічна, екологічна, політична та ін.	еколого-економічна
– за характером зв'язків системи з навколишнім середовищем	закриті, відкриті, комбіновані	відкрита
– за структурою	прості, складні	складна
– за характером функцій	спеціалізовані, багатофункціональні	багатофункціональна
– за характером розвитку	стабільні, що розвиваються	що розвиваються
– за ступенем організованості	добре організовані, погано організовані (дифузні)	добре організовані
– за характером зв'язків між елементами	детерміновані, стохастичні	стохастична
– за структурою управління	централізовані, децентралізовані	централізована
– за розмірністю	одномірні, багатомірні	багатомірна
– за однорідністю та різноманітністю елементів	гомогенні, гетерогенні	гетерогенна
– за здатністю визначати ціль	казуальні, цілеспрямовані	цілеспрямована

Характеристика внутрішнього середовища мікро- мезо- та макроекологістичних систем. Логістика як наука й інструмент бізнесу почала формуватися в середині ХХ століття. Еволюція логістики відбилася на структурі логістичних систем. Кожен з періодів формування логістики відрізняється відповідними концептуальними підходами до створення та управління логістичними системами.

На етапі класичної логістики (1960-1970 рр.) відбувалась часткова інтеграція логістичних функцій в межах підприємства – мікрологістичної системи, якій відповідає прямий логістичний ланцюг. Подальша інтеграція функціональних областей логістики підприємств на етапі неокласичної (інтегрованої) логістики (1980 р.) призвела до створення мезологістичних систем з розширеними логістичними ланцюгами. Для етапу глобальної логістики (1990 р.) властивий розвиток логістичних систем до глобальних зі створенням максимальних логістичних ланцюгів.

Наприкінці ХХ століття гостро стали питання негативного впливу господарчої діяльності на довкілля, тому виникла потреба переходу до нового етапу розвитку логістики – еколого-орієнтованої логістики. Відбулися відповідні зміни і у структурі логістичних ланцюгів – виникли повні логістичні ланцюги, які мають замкнутий характер, що відповідає новому типу логістичних систем – екологістичним системам (табл. 4).

Таблиця 4

Еволюція логістичних систем та логістичних ланцюгів

Етап розвитку логістики	Тип логістичної системи	Вид логістичного ланцюга
Класична логістика	Мікрологістична система	Прямий логістичний ланцюг
Інтегрована логістика	Мезологістична система	Розширений логістичний ланцюг
Глобальна логістика	Макрологістична система	Максимальний логістичний ланцюг
Екологістика	Екологістична система (мікро-, мезо- та макро-)	Замкнутий логістичний ланцюг

Екологістичну систему на мікрорівні слід розглядати як підсистему управління підприємством, до складу якого входять функціональні логістичні підсистеми: основні – закупівельна (постачання), виробнича, розподільна (збут) та допоміжні – складська, транспортна та реверсивна (рис. 2).



Рис. 2. Еколого-орієнтована мікрологістична система

З позицій системного підходу слід враховувати інтегральний вплив екологістичної системи на довкілля як суму впливу кожного елемента або кожної функціональної підсистеми логістики.

Виділяють основні (постачання, виробництво, розподіл) та допоміжні (транспортна, складська, реверсивна) логістичні підсистеми підприємства. Кожна з підсистем відрізняється специфічними особливостями врахування екологічних аспектів в процесі просування матеріальних потоків.

Логістика постачання або закупівельна є первісною логістичною підсистемою, що визначає екологічні характеристики вхідних матеріальних потоків, які залежать від вибору екологічних постачальників та від яких, в значній мірі, залежать екологічні характеристики продукції, що вироблятиметься.

Виробнича логістика сприяє створенню екологічного продукту. Для цього пропонується використовувати екологічне обладнання та екологічні технології, які дозволяють мінімізувати споживання ресурсів та енергії, а також утворення відходів та викидів в процесі виробництва продукції.

Збутова або розподільна логістика повинна забезпечити можливість розподілу готової продукції з урахуванням екологічних факторів, зокрема мінімізувати вплив на довкілля завдяки оптимізації розподільної мережі, використанню екологічно чистого пакування, яке підлягає подальшій переробці, тощо.

Транспортна логістика повинна зосередитись на завданні максимально екологічної доставки товарів з використанням екологічного транспорту, оскільки транспорт є одним з основних забруднювачів довкілля.

Складська логістика повинна враховувати екологічні аспекти при проектуванні, побудові та функціонуванні складських розподільних комплексів, в процесі зберігання сировини, матеріалів, готової та зворотної продукції, відходів.

Реверсивна логістика є підсистемою, яка замикає ланцюги поставок та дозволяє управляти життєвим циклом товару від видобутку до його використання та утилізації.

Таким чином, одним зі шляхів екологізації логістичних систем можна вважати впровадження заходів екологізації її окремих функціональних областей (табл. 5).

Таблиця 5

Екологізація функціональних областей логістики

Функціональна логістична підсистема	Завдання екологізації
Закупівельна (постачання)	<ul style="list-style-type: none"> – екологічний аудит постачальників; – закупівля ресурсів з можливістю вторинного використання та переробки; – закупівля ресурсів з оцінкою екологічних характеристик поставок (обсягів та системи закупок).
Виробнича	<ul style="list-style-type: none"> – застосування екологічного обладнання в процесі виробництва; – мінімізація ресурсо-, енерго- та матеріалоемності технологічного процесу виробництва продукції; – мінімізація відходів виробництва; – забезпечення екологічно безпечних умов праці.
Збутова (розподільна)	<ul style="list-style-type: none"> – використання екологічно безпечного пакування; – організація розподільної мережі з мінімальним впливом на довкілля; – організація екологічного сервісного обслуговування; – застосування еко-маркування.
Складська	<ul style="list-style-type: none"> – просторова організація та будівництво складської інфраструктури з урахуванням екологічного впливу на довкілля; – використання ресурсо- та енергозберігаючих технологій в роботі складів; – забезпечення екологічно безпечних умов розміщення та збереження запасів, готової продукції, відходів; – вибір екологічно безпечних способів та засобів – вантажо-розвантажувальних робіт.
Транспортна	<ul style="list-style-type: none"> – надання переваги екологічним видам транспорту, виду сполучення, транспортним засобам; – оптимізація маршрутів транспортування з урахуванням мінімального впливу на довкілля; – використання екологічних паливо-мастильних матеріалів.
Реверсивна	<ul style="list-style-type: none"> – організація каналів поворотних та зворотних матеріальних потоків; – організація процесу повернення пакувального матеріалу та виробів для повторного використання; – організація вторинного використання відходів виробництва; – організація системи утилізації відходів.

На мезо- та макрорівні еколого-орієнтована система складається з підсистем – учасників логістичного ланцюга, що приймають участь у просуванні прямого та зворотного матеріальних потоків, а також супутніх потоків.

Еколого-орієнтований логістичний ланцюг складається з двох ланцюгів: прямого та зворотного, в залежності від напрямку руху матеріального потоку. Учасники, що входять до прямого ланцюга, можуть не входити до зворотного, та навпаки. Є такі учасники, що входять до обох ланцюгів, і прямого, і зворотного. Умовною ланкою, що поділяє повний ланцюг на прямий та зворотний є спожив/користувач продукції. Прямий ланцюг починається з постачальника ресурсів

та закінчується споживачем/користувачем продукції, зворотний ланцюг починається споживачем/користувачем продукції та закінчується центром утилізації (рис.3).



Рис. 3. Еколого-орієнтована макрологістична система

Зворотний матеріальний потік – це сукупність товарно-матеріальних цінностей, віднесена до визначеного часового інтервалу та скерована в напрямку від джерела її споживання до джерела утворення з метою відновлення корисності або вилучення з обігу [18].

До складу зворотних матеріальних потоків можуть входити сировина, готова продукція, товари, засоби пакування, тара багаторазового використання або пошкоджена, відходи виробництва та споживання тощо. Це можуть бути вироби, що втратили товарну цінність, товарний вигляд, які служать матеріальними ресурсами організацій по переробці, тобто вторинні матеріальні ресурси.

Існують розбіжності і у визначенні сутності зворотних та поворотних потоків. Зворотні потоки (від слова зворотно) направлені в сторону, протилежну прямому потоку до місць їх переробки для подальшого залучення в господарський обіг. Отже, для зворотних потоків визначальним є напрямок руху – протилежний прямому.

Поворотні матеріальні потоки (від слова повернути) складаються з повернутих товарів, тари, пакування тощо однією стороною іншої, на адресу постачальника, продавця. Поворотний потік – це товарний потік, що організовується та направляється одержувачем на адресу постачальника за узгодженими з ним термінами, формою розрахунків і якістю товару [19]. Тобто в процесі просторового переміщення знаходяться товари неналежної якості, браковані, пошкоджені, гарантійні, відкликані виробником тощо. В тому ж самому вигляді, або після відновлення вони надходять в новий цикл збуту і реалізації.

Отже, між зворотними та поворотними потоками існує різниця, яка виражається в природі їх виникнення та цільовому призначенні. У складі зворотних потоків крім поворотних виділяють ще матеріальні потоки, що підлягають рециклінгу або утилізації, так звані рециклінго-утилізаційні потоки [20]. Потокову модель екологістичної системи представлено на рисунку 4.

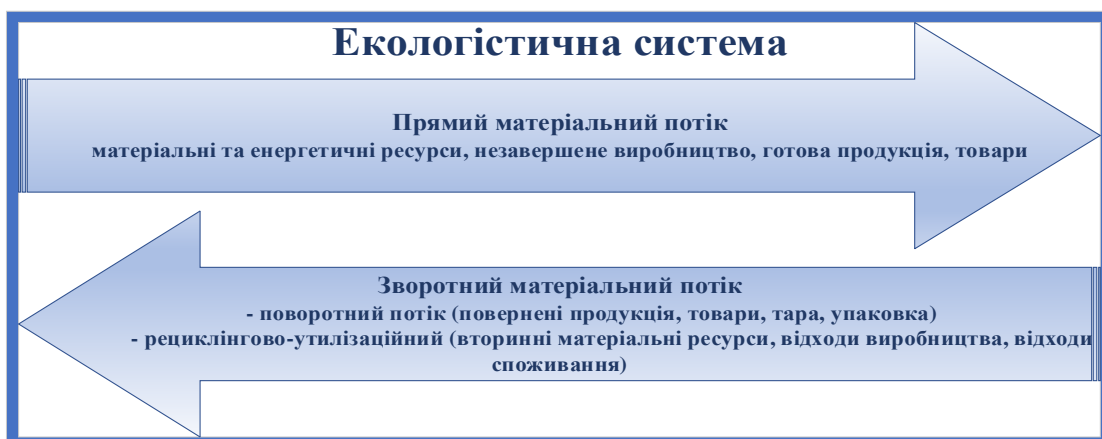


Рис. 4. Матеріальні потоки екологістичної системи

Екологістична система, як бідь-яка система, існує в зовнішньому середовищі, до якого відносяться зовнішні до неї об'єкти, що впливають на стан системи (безпосередньо або опосередковано), оскільки дана система не може бути індиферентною до зовнішнього середовища. Якщо умови зовнішнього середовища сприятливі, система успішно функціонує, якщо ні – може гальмувати свій розвиток, майже до припинення існування.

Характеристика зовнішнього оточення екологістичної системи. Якщо мова йде про мікрологістичну систему, то зовнішнє середовище прямого впливу можна поділити на два контактні рівні:

- перший рівень – включає інші підсистеми материнського підприємства, елементи яких вступають в безпосередній контакт з елементами екологістичної системи: виробничу, фінансову, маркетингову, організаційну, екологічну підсистеми підприємства;

- до другого рівня належать безпосередні контактери, які мають вплив на функціонування екологістичної системи: постачальники, клієнти, конкуренти, контролюючі органи, суспільні органи тощо.

Для мезо- та макрологістичної системи зовнішнє середовище прямого впливу включає:

- перший рівень – учасників економічної системи, до складу якої входить екологістична система, які не приймають участь у формуванні логістичного ланцюга, але вступають з елементами системи у зв'язки (договірні відносини): фінансові установи, страхові компанії, брокерські компанії тощо;

- другий рівень – учасники інших логістичних систем, що працюють на тому ж ринку: постачальники, виробники, транспортні підприємства, складські комплекси, логістичні оператори тощо.

Зовнішнє середовище опосередкованого впливу для еколого-орієнтованих мікро-, мезо- та макрологістичних систем включає наступні фактори впливу: політичні, економічні, соціальні, екологічні, технологічні, демографічні, науково-технічні тощо.

Екологістична система, як будь-яка матеріальна система, отримує із зовнішнього середовища речовину, енергію та інформацію для забезпечення своєї життєдіяльності, а також розвитку та удосконалення.

На структурному рівні екологістична система є підсистемою системи більш високого рівня ієрархії, а саме еколого-економічної системи.

До зміни логістичної парадигми на екологістичну призвели зміни в світогляді людства, які виражаються в впровадженні концепції сталого розвитку. Відбулися зміни в визначенні місця нового типу логістичних систем – екологістичних, в ієрархії систем вищого порядку.

Якщо логістична система є елементом антропосфери – техногенного середовища, частини біосфери, перетвореної людиною під власні потреби. То, екологістична система є частиною антропосфери та ноосфери, яка охоплює взаємодію техногенного середовища з природньо-ресурсним потенціалом біосфери (рис. 5).

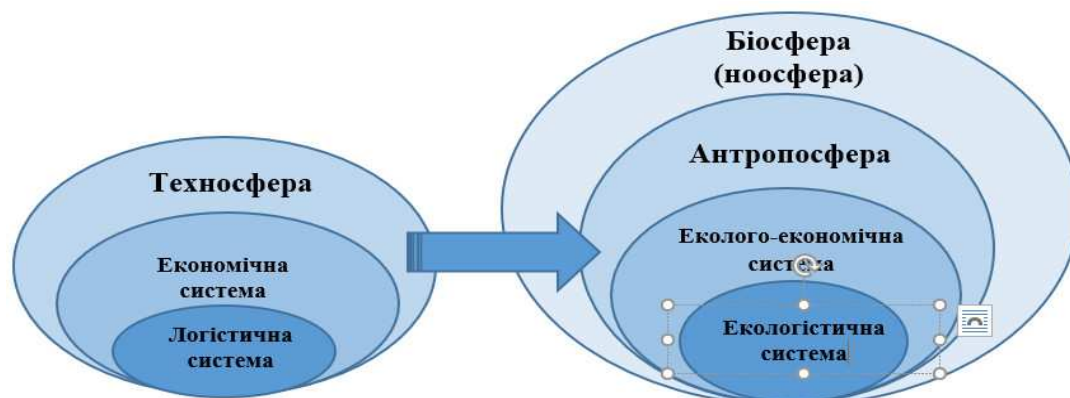


Рис. 5. Трансформація логістичної системи в екологістичну систему

З розвитком усвідомленості поведінки та відповідальності людства за стан довкілля й умови життя не тільки теперішніх, але й майбутніх поколінь, повинна відбутися трансформація існуючої економічної моделі в більш еколого-орієнтовану (циркулярну) модель, інструментом втілення якої є екологістична система.

Очевидно, що така трансформація неможлива без створення якісно нової моделі розвитку людства, що спиратиметься на високій духовності та обізнаності в законах існування та розвитку всесвіту.

Висновки. Сталий розвиток є сучасною концепцією розвитку людства, що дозволяє досягти гармонії в тріаді – економіка, екологія, суспільство, забезпечити достойний рівень існування сучасному людству та зберегти негірші ніж сучасні умови життя на планеті для наступних поколінь. Досягти цілей сталого розвитку можливо лише завдяки проникненню екологічної парадигми у всі сфери життя людини, іншими словами за умови загальної екологізації економіки та суспільства.

Логістика як область практичної діяльності вносить свій негативний внесок у стан навколишнього середовища. Врахування екологічного аспекту в логістиці призвело до виникнення нового поняття «екологістична система» під якою розуміють логістичну систему як сукупність елементів-ланок, взаємозв'язаних в процесі управління рухом прямих та зворотних логістичних потоків, що враховує екодеструктивний вплив на довкілля.

Екологістична система є реальною (антропогенною), еколого-економічною, відкритою, складною, багатофункціональною, добре організованою, стохастичною, централізованою, багатомірною, цілеспрямованою системою, що розвивається.

Екологістичній системі властиві загальні характеристики систем: цілісність, подільність, організованість, структурованість, інтегративність, емерджентність, цілеспрямованість; логістичних систем: складність, відкритість, стохастичність, гетерогенність та багатофункціональність, динамічність та адаптивність; а також специфічні характеристики: екологічність, замкнутість.

Екологістичну систему на мікрорівні слід розглядати як підсистему управління підприємством, до складу якого входять функціональні логістичні підсистеми: основні – закупівельна (постачання), виробнича, розподільна (збут) та допоміжні – складська, транспортна та реверсивна. На мезо- та макрорівні еколого-орієнтована система складається з підсистем – учасників логістичного ланцюга, що приймають участь у просуванні прямого та зворотного матеріальних потоків, а також супутніх потоків.

Екологістична система, як будь-яка матеріальна система, отримує із зовнішнього середовища речовину, енергію та інформацію для забезпечення своєї життєдіяльності, а також розвитку та удосконалення.

На структурному рівні екологістична система є підсистемою системи більш високого рівня ієрархії, а саме еколого-економічної системи, яка, в свою чергу, входить до антропосфери та біосфери.

Література

- 1 Тураев В.А. Глобальные вызовы человечеству : учебное пособие. М. : Логос, 2002. 192 с.
- 2 Ковтун Т.А. Визначення ролі екологізації в досягненні цілей сталого розвитку. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. 2020. № 2 (71). С. 63–81.
- 3 Мішенін Є.В., Коблянська І.І., Устік Т.В., Ярова І.Є. Екологорієнтоване логістичне управління виробництвом : монографія / за наук. ред. д.е.н., проф. Є.В. Мішеніна. Суми : ТОВ «Друкарський дім «Папірус», 2013. 248 с.
- 4 Van Buren N. et al. Towards a circular economy: the role of dutch logistics industries and governments. Sustainability. 2016. № 647.
- 5 Руденко С.В., Ковтун Т.А. Екологізація логістики як напрямок реалізації концепції сталого розвитку. Проектний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій. Том 3 : монографія / авт. кол. С.В. Руденко, І.О. Лапкіна та ін. Одеса: КУПРИЄНКО С.В, 2020. С. 7–24.
- 6 Бауерокс Д.Д., Клосс. Логистика : интегрированная цепь поставок. М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2001. 640 с.
- 7 Цветков А.И. Управление цепями поставок с учетом экологического фактора (на примере использования автомобильного транспорта) : дисс. ... канд. екон. наук. : 08.00.05. М., 2010. 138 с.
- 8 Джонсон Дж.С., Вуд Д. Ф., Вордлоу Д.Л., Мерфи-мл П.Р. Современная логистика (пер. с англ., 7-е изд.). М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. 624 с.
- 9 Берталанфи Л. Общая теория систем : критический обзор. Исследования по общей теории систем. М. : Прогресс, 1969. С. 23–82.

10 Мельниченко Н.Ю. От тектологии к синергетике, или Краткий философский обзор по истории теории систем. Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2012. № 2. Ч. 2. С. 135–138.

11 Матвеев А.Г. Философско-правовые основы понятия «система» : от конкретной к аналитической теории систем. Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2015. № 7. Ч. 2. С. 105–109.

12 Сумець О.М., Бабенкова Т.Ю. Логістичні системи і ланцюги поставок : навч. посібн. К. : Хай-Тек-Прес, 2012. 220 с.

13 Уваров С.А. Логистика : общая концепция, теория, практика. СПб. : ИНВЕСТ-НП, 1996. 232 с.

14 Усманова С.Б. Формирование и развитие мезологистических систем региона. Автореферат дисс. к.э.н. Екатеринбург, 2007. 26 с.

15 Родников А.Н. Логистика : Терминологический словарь. 2-е изд. М. : ИНФРА-М, 2000. 352 с.

16 Крикавський Є. Логістичне управління : підруч. Львів. : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 684 с.

17 Сергеев В.И. Логистика в бизнесе. М.: ИНФРА-М, 2001. 680 с.

18 Дзюбіна К.О., Дзюбіна А.В. Дослідження сутності та моделювання систем функціонування поворотних та утилізаційно-рециклінгових матеріальних потоків. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія «Проблеми економіки та управління». 2016. № 847. С. 205–212.

19 Лазарев В.А. Методология управления устойчивостью предприятия : логистическая концепция : монография. М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. 239 с.

20 Kovtun T., Smrkovska V. Modeling of ecologically-oriented closed logistics chains. Intelligent computer-intergrated information technology in project and program management : Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. Riga : ISMA, 2020. С. 79-93.

T. Kovtun

*Odessa National
Maritime University*

ECO-LOGISTIC SYSTEM AS A RESULT OF THE TRANSFORMATION OF THE WORLD-VIEW CONCEPT OF HUMANITY ON ECOLOGICALLY ORIENTED SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The article gives a systematic view of the eco-logistic system as a result of changes in the worldview of humanity from technogenic to sustainable development. The feasibility of greening the logistic activities to reduce the eco-destructive impact on the environment has been substantiated. The essence of the eco-logistic system is determined and its definition is given. Eco-logistic system is a logistic system viewed as a set of link elements interconnected in the process of controlling the movement of direct and reverse logistic flows, taking into account the eco-destructive impact on the environment.

The description of the eco-logistic system is presented, which is an anthropogenic, ecological-economic, open, complex, multifunctional, well-organized, stochastic, centralized, multidimensional, purposeful, developing system. The characteristics of the eco-logistic system are determined, which is characterized by general characteristics of systems, specific characteristics of logistics systems, as well as individual ones: environmental friendliness and closed.

The evolution of logistic systems and logistic chains is investigated in accordance with the stages of logistics development. The internal and external environment of the eco-logistic systems of micro-, meso- and macrolevels are analyzed. At the micro-level, the eco-logistic system should be considered as a subsystem of enterprise management, which includes functional logistic subsystems. At the meso- and macro-levels, the eco-logistic system consists of subsystems – participants in the logistic chain that take part in the promotion of direct and reverse material flows, as well as associated flows. The composition of direct and reverse (return and recycling-utilization) flows has been determined.

The external environment of the eco-logistic system is analyzed, which is a subsystem of the system of a higher level of the hierarchy, namely, the ecological-economic system, which is part of the anthroposphere and biosphere.

Key words: sustainable development, eco-logistic system, micro-, meso- and macrologistic system, internal and external environment of the system.

References

- 1 Turaev, V.A. (2002). *Globalnyie vyzovy chelovechestvu: uchebnoe posobie*. M. : Logos, 192.
- 2 Kovtun, T. (2020). Determining the role of greening in achieving sustainable development goals. *Development of methods of management and administration of transport*. 2(71). 63-81.
- 3 Mishenin Ye.V., Koblianska I.I., Ustik T.V., Yarova I.Ie. (2013). *Ekolohorrientovane lohistrychne upravlinnia vyrobnytstvom : monohrafiia*. Sumy : TOV «Drukarskyi dim «Papyrus», 248.
- 4 Van Buren, N. & et al. (2016). Towards a circular economy: the role of dutch logistics industries and governments. *Sustainability*, 647.
- 5 Rudenko, S. V. & Kovtun, T. A. (2020). Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development. *Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies*. Volume 3: monograph. Odessa, 7-24.
- 6 Baueroks, D.D., Kloss. (2001). *Logistika : integrirovannaya tsep postavok*. M. : ZAO «Olimp-Biznes», 640.
- 7 Tsvetkov, A.I. (2005). *Upravlenie tsepyami postavok s uchetom ekologicheskogo faktora (na primere ispolzovaniya avtomobilnogo transporta) : diss. ... kand. ekon. nauk. : 08.00.05*. M., 138.
- 8 Dzhonson, Dzh.S., Vud, D. F., Vordlou, D.L., Merfi-ml, P.R. (2005). *Sovremennaya logistika*. (per. s angl., 7-e izd.). M. : Izdatelskiy dom «Vilyams», 624.
- 9 Bertalanffy, L. (1969). *Obshchaya teoriya sistem: kriticheskiy obzor issledovaniya po obshchey teorii sistem*. M. : Progress, 23-82.
- 10 Melnichenko, N.Yu. (2012). *Ot tektologii k sinergetike, ili Kratkiy filosofskiy obzor po istorii teorii system*. *Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kulturologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki*. no.2, Part II. 135-138.
- 11 Matveev, A.G. (2015). *Filosofsko-pravovye osnovy ponyatiya "sistema" : ot konkretnoy k analiticheskoy teorii system*. *Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kulturologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki*. no. 7, Part II, 105-109.
- 12 Sumets O.M., Babenkova T.Yu. (2012) *Lohistrychni systemy i lantsiuhy postavok : navch. posibn. K. : Khai-Tek-Pres*, 220.
- 13 Uvarov, S.A. (1996). *Logistika : obshchaya koncepciya, teoriya, praktika*. SPb. : INVEST-NP, 1996. 232.
- 14 Usmanova, S.B. (2007). *Formirovanie i razvitie mezologisticheskikh sistem regiona*. *Avtoreferat diss. k.e.n. Ekaterinburg*, 26.
- 15 Rodnikov, A.N. (2000). *Logistika : Terminologicheskii slovar*. 2-e izd. M. : INFRA-M, 352.
- 16 Krykavskiy Ye. (2005) *Lohistrychne upravlinnia : pidruch*. Lviv. : Vyd-vo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika», 684.
- 17 Sergeev, V.I. *Logistika v biznese*. M. : INFRA-M, 2001. 680.
- 18 Dziubina K.O., Dziubina A.V. (2016). *Doslidzhennia sutnosti ta modeliuvannia system funktsionuvannia povorotnykh ta utylizatsiino-retsylinhovykh materialnykh potokiv*. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika». Seryiia «Problemy ekonomiky ta upravlinnia»*. № 847. 205–212.
- 19 Lazarev, V. A. (2011). *Metodologiya upravleniya ustoychivostyu predpriyatiya : logisticheskaya kontseptsiya : monografiya*. M-vo obrazovaniya i nauki RF, Ural. gos. ekon. un-t. Ekaterinburg : Izd-vo Ural. gos. ekon. un-ta, 239.
- 20 Kovtun, T., Smrkovska, V. (2020). *Modeling of ecologically-oriented closed logistics chains. Intelligent computer-intergrated information technology in project and program management: Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev*. Riga : ISMA. 79-93.

N. Glibovytska, L. Shkitsa
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas

ASSESSMENT METHODOLOGY OF GREEN PLANTATIONS VITALITY IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENICALLY TRANSFORMED ECOSYSTEMS

The most informative parameters of woody plants living condition are analyzed, which should be used for the ecological monitoring of urbanized and oil-contaminated areas. The reactions of the plant organism at different levels of the biosystem organization in response to the action of priority pollutants of the technogenic-transformed environment – heavy metals and oil products – are provided. The relevance of the study of oil pollution as one of the current main environmental problems is substantiated. The adaptive-protective reactions characteristic of the resistant plant species and destructive changes in the stress-sensitive phytoobjects are highlighted. It is established that the widest range of plant reactions to the man-made environmental impacts can be found at the molecular, cellular and organ levels of biosystems organization. Based on a set of morphological, physiological, cytological, histological and phenological processes of plants, it is recommended to use indicator species in biomonitoring studies, and remediative species – in the reclamation measures for the anthropogenically altered areas. The authors have highlighted the methodical approaches to assessing the ecological condition of urbanized and oil-contaminated ecosystems, based on the specifics of zoning and choice of background area. The classes of vitality and the categories of plant stability are characterized based on the percentage deviation of the analyzed plant parameters from the background values. The prospects of green plantations as the primary producers of organic matter and recipients of the complex impact of biotic, abiotic and anthropogenic environmental factors are substantiated. The criteria for sampling plant material for bioindication studies to obtain reliable factual data are described. The relationship between the processes that occur at all levels of the biosystem hierarchy of the plant organism – from molecular to ecosystem – is highlighted. Based on establishing the living condition of the green areas of urbanized and oil-contaminated areas, it is possible to timely record the slightest changes in the ecological state of the environment and to prevent further negative trends in it.

Key words: living condition, green plantations, oil pollution, urbanized ecosystem, biosystem organization.

Problem statement. Plants are an integral part of any ecosystem, as they act as the primary producers of organic matter and absorbers of the man-made pollutants. Carrying out the environment-creating function, plants reflect the environmental state, which is manifested in the change of plants vital parameters at different levels of biosystem organization. Therefore, the urgent task of practical environmental science is to study the plants living conditions under the active influence of anthropogenic activities in order to timely identify irreversible processes in the environment. In urban areas, the main sources of environmental pollution are industry and transport, which produce large amounts of toxic substances for biota – heavy metals, hydrocarbons, acid oxides, chlorine derivatives, etc. A special danger to the stable functioning of ecosystems is caused by oil and its products, which are the most common contaminants of the environment today. In this regard, special attention is paid to monitoring the ecological state in oil-producing areas, and perennial green plantations are recommended to be used as biological indicators and remediates.

Literature review. A large number of scientific papers are devoted to the study of plant organisms reactions to the heavy metals effects, which are components of oil and have carcinogenic action, cause necrotic damage to plants, block photosynthesis and metabolic transformations [2-5, 7-9, 13, 15, 19]. Heavy metals are a source of free radicals in cells, which are formed during cellular respiration and cause oxidative stress. Oil hydrocarbons inhibit the growth and development of plants and are especially dangerous for the generative sphere of phytoobjects [11, 16]. Nitrogen and sulfur compounds, as the components of oil, interact with atmospheric moisture and precipitate in the acid rain form. This leads to the chemical burning of plant tissues and their premature death [10, 17]. Oil pollution is a complex environmental problem that includes the current pressing problems – environmental pollution by heavy metals and acid rain. Therefore, the study of the functional state of plants in terms of oil pollution and its

derivatives will identify the sustainable species and species-indicators that can be implemented in the landscaping of man-made areas for various purposes.

The effect of petroleum products and other pollutants of anthropogenic origin on grass plants has been sufficiently studied [11, 12, 18, 20, 21]. However, the reactions of perennial tree plantations to the effects of oil pollution are especially relevant in terms of their prospects as phytoindication markers in ecomonitoring studies. There arises the question of identifying the most informative morphological, phenological, physiological, cytological, and anatomical features of woody plants, which can quickly determine the quality of habitat. Based on the parameters of green plantations vitality, it is possible to identify the species that effectively perform the remediation function and the species that are unstable to the effects of adverse environmental factors. Thus, it is possible to solve two key aspects of biomonitoring – to identify bioindicators to control the slightest changes in the ecological state of the environment, and remediative species to restore the environment degraded by anthropogenic activities.

Setting objectives. The purpose of our work is to identify the biologically indicative reactions of tree species to the complex influence of pollutants in the conditions of technogenic-transformed territories and to investigate the suitability of green plantations as phytomeliorants and phytoindicators.

Results and discussion. The living condition of a plant is a complex of growth and development parameters that reflect the resistance of an individual to a set of environmental factors. As in the conditions of oil-producing territories, the priority contaminants of urban ecosystems are oil and oil products. Vehicles and industry emissions are sources of aliphatic, aromatic hydrocarbons, acid oxides and heavy metals.

To assess the living condition of the plant in specific environment, it is necessary to study the processes of plants' life at all levels of the biosystem hierarchy – from molecular to biocoenotic (table 1).

Table 1

Assessment of woody plants living state at different levels of the biosystem hierarchy in the conditions of oil pollution

No.	Level of biosystem organization	Parameters of plant organism vitality
1	molecular	content of photosynthetic pigments and their ratio, organic and mineral substances content, antioxidant enzymes activity
2	cellular	chromosomal abnormalities during mitotic cell division, number of germinated and viable pollen grains of plants, cell size, intracellular buffering capacity
3	tissue	density and size of stomata, tissue thickness
4	organ	mass and number of vegetative and generative organs of plants, area and linear parameters of leaf plates, types of leaf necrotization, asymmetry of plant organs
5	organismic	intensity of defoliation, dechromation of the crown and its length, age and height of the plant, presence of diseases and pathogens
6	population-species	duration and timing of phenological phases of ontogenesis
7	biocoenotic	cycle of chemical elements in the "plant-environment" system

The molecular level of biosystems organization involves the study of plants photosynthetic processes activity, the suppression of which is a sign of adverse environmental conditions. The concentration of chlorophyll in the plants assimilation organs decreases in direct proportion to the degree of man-made pressure on the environment. The increase of carotenoids content relative to chlorophyll in the leaf blades indicates the ecological plasticity of the species and its high vitality [6, 14].

Among all pollutants, heavy metals, which block enzymatic reactions in cells by inactivating enzymes, have the most detrimental effect on plant assimilation. The action of heavy metals is to replace the element in the active center of the enzyme, which makes it impossible for it to function.

Studying the concentration of glucose, starch, amino acids, proteins, fatty acids and lipids in the plant gives a complete picture of its metabolic processes, indicates the predominance of catabolic or anabolic reactions in the plant body. The increased decomposition of organic matter in the plant body indicates the presence of stress and is an indicator of plant sensitivity to contaminants. The adaptive reactions of plants at the molecular level of biosystem organization are the synthesis of protective proteins – metallothioneins and phytochelatin, heat shock proteins – and the formation of a strong lipid layer on

the surface of plant organs. The lipid layer on the cuticle of plant organs prevents the excessive transpiration and damage to plant tissues due to adverse biotic, abiotic or anthropogenic environmental factors. The accumulation of ash is an indicator of the high accumulative capacity of the plant and, as a rule, indicates a strong remediation capacity. Enzymes are substances of protein nature that are extremely sensitive to the chemical and physical influences of the environment, so all components of the man-made environmental pollutants block the activity of enzyme systems. This prevents the physiological course of biochemical reactions and reduces plant viability. However, under stress, the activity of antioxidant enzymes increases and provides protection against the activated forms of oxygen, which are formed in large quantities during cellular respiration under the influence of contaminants. The activity of catalase, peroxidase, glutathione reductase and superoxide dismutase is a reliable parameter of plant life in certain growing conditions.

The classic adaptive response of plants at the cellular level of organization is to reduce cell size in order to minimize the energy costs of metabolic adjustment [21]. The consequence of oil components influence on plants is a violation of cell division and the formation of non-viable pollen grains. Using the iodine starch test is a convenient way to detect starch in the pollen grains of woody plants and diagnose their living condition. The buffering of the intracellular environment of plants indicates the adaptive potential of plants to the effects of stress factors. The research results of the plant cells protoplast reaction in response to a weak solution of hydrochloric acid allow us to classify a particular species as a sensitive or resistant plant.

The plants resistant to stressful growth conditions have a thickening of the integumentary tissues of the vegetative organs and a decrease in the density of the stomata on the inner surface of the leaf blades. The respiratory cells of plants provide gas exchange and transpiration – the key processes of plant life, so reducing the number of stomata is considered as an adaptive-protective reaction aimed at optimizing the water and gas exchange of plants.

The organic level of studying the green plantings vitality provides the analysis of a number of plants morphological parameters – weight and quantity of vegetative and generative organs, sizes of leaves and degree of their necrotic lesions. The intensification of man-made effects causes the inhibition of plant growth processes and the appearance of necrosis of various types on the leaves. Necrotic lesions are specific indications of plants that occur due to the ingress of heavy metals and acid oxides into the plant. When assessing the favorable habitat of organisms the asymmetry coefficient of individual plant organs is used, which indicates the degree of urban pressure on the environment. Particularly promising in this regard is the leaf as a functionally important organ of plants, which ensures the implementation of key physiological processes [1]. Oil is a source of both metals and non-metals in the environment, which leads to the irreversible morpho-physiological processes in the plant body.

At the organismal level, it is advisable to study such morpho-physiological parameters of tree vitality as the degree of dechromation of deciduous crown, length of the crown, height and age of the tree. The adverse environmental factors cause a reduction in the timing of phenological phases of plants, premature aging and leaf fall. All visible phenomena of plant organisms reflect the processes occurring at the previous lower levels of the biosystem organization. Under the conditions of man-made pollution, weakened plants are vulnerable to phytopathogens, which provoke plant diseases.

In any ecosystem, plants play the role of primary producers of organic matter and oxygen, and are the first link in the cycle of matter and energy. Thus, studying the cycle of chemical elements in the “plant-environment” system is an urgent task in monitoring the anthropogenically altered areas.

The following recommendations should be followed when selecting the material of plant objects for research:

- to select the material of age-old plants, which are represented in the number of at least 8-10 individuals within each ecotope of the selected study area;
- to select plant material at the same height from the branches of the same order along the perimeter of the crown of the species during completion of the growing season;
- the selected plant material should be stored in an airy-dry state or used immediately in the experiment.

When studying the ecological condition of green areas of the urban environment, it is advisable to be guided by the functional zoning of the territory or zoning according to the parts of the world. It is recommended to study an oil-contaminated ecosystem based on determining a certain distance from the source of oil emissions, in particular a pit or oil deposit. The living condition of plants growing near the

oil deposit will reveal both the distribution of pollutants in the environment and the degree of their toxicity.

The research results of the plants vitality parameters in the man-made environment should be compared with similar parameters of the plants in the so-called background area (table 2).

The background territory may be a legislatively protected area or an area with homogeneous natural and climatic conditions, where there is no excess of the maximum allowable concentrations of priority pollutants.

With an average parameter deviation from the background value of 1-10%, the plant vitality is considered high; of 11-20% – above average; of 21-30% – average; of 31-50% below average, and with a deviation of 51% or more – low.

Table 2

Assessment of the living condition of woody plants at different levels of the biosystem hierarchy in urban and oil-contaminated ecosystems

Parameter deviation from the background value	Plant vitality class	Category of plant resistance
1–10 %	I	high
11–20 %	II	above average
21–30 %	III	average
31–50 %	IV	below average
>50 %	V	low

Thus, based on the research results, it is possible to draw appropriate conclusions about increase in the degree of man-made pressure in a particular functional area.

Conclusions. When conducting ecological monitoring of urban and oil-contaminated areas, it is necessary to take into account zoning of the selected ecosystem and to follow certain recommendations when selecting plant research sites. Using the parameters of plants vitality at different levels of biosystems organization, it is possible to characterize the ecological state of the environment of anthropogenically-transformed areas. According to the green plantations complex of features, there are species-indicators that reflect the real ecosituation in a certain area, and species-remediates that are resistant to man-made pollutants and have high stress resistance. The adaptive capabilities of remediates allow them to be used as effective phytomeliorants in the oil-contaminated environment.

Н. І. Глібовицька, Л. Є. Шкіца

*Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу*

**МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В
УМОВАХ ТЕХНОГЕННО-ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ**

Проаналізовано найінформативніші параметри життєвого стану деревних рослин, які доцільно використовувати при проведенні екологічного моніторингу урбанізованих і нафтозабруднених територій. Наведено реакції рослинного організму на різних рівнях біосистемної організації у відповідь на дію пріоритетних забруднювачів техногенно-трансформованого довкілля – важких металів та нафтопродуктів. Обґрунтовано актуальність вивчення нафтового забруднення навколишнього середовища як однієї з головних екологічних проблем сьогодення. Виділено пристосувально-захисні реакції, характерні для стійких видів рослин, та деструктивні зміни у чутливих до стресових умов існування фітооб'єктів. Встановлено, що найширший спектр рослинних реакцій на техногенні впливи довкілля можна виявити на молекулярному, клітинному та органічному рівні організації біосистем. На основі комплексу морфологічних, фізіологічних, цитологічних, гістологічних і фенологічних процесів рослин рекомендовано використовувати види-індикатори у біомоніторингових дослідженнях, а види-ремедіанти – у рекультивацийних заходах антропогенно-змінених територій. Висвітлено методичні підходи до оцінки екологічного стану урбанізованих і нафтозабруднених екосистем, що ґрунтуються на специфіці зонування та виборі фонові території. Охарактеризовано класи життєвості та категорії стійкості рослин на основі відсотка відхилення аналізованих параметрів рослин від фонових значень. Обґрунтовано перспективність зелених насаджень як первинних продуцентів органіки та реципієнтів комплексного впливу біотичних, абіотичних і антропогенних

чинників навколишнього середовища. Описано критерії відбору проб рослинного матеріалу для проведення біоіндикаційних досліджень з метою одержання достовірних фактичних даних. Висвітлено взаємозв'язок між процесами, що відбуваються на усіх рівнях біосистемної ієрархії рослинного організму – від молекулярного до екосистемного. На основі встановлення життєвого стану зелених насаджень урбанізованих і нафтозабруднених територій можна своєчасно фіксувати найменші зміни в екологічному стані довкілля та попередити подальші негативні тенденції у ньому.

Ключові слова: життєвий стан, зелені насадження, нафтове забруднення, урбанізована екосистема, біосистемна організація.

References

- 1 Alves-Silva E., Santos J.C., Cornelissen T.G. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry // *Ecological Indicators*, 2018. – № 89. – P. 912-924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.060>.
- 2 Ashraf S., Ali Q., Zahir Z. A., Asghar H. N. Phytoremediation: environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils // *Ecotox. Environ. Safe*, 2019. – № 174. – P. 714-727. [10.1016/j.ecoenv.2019.02.068](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068).
- 3 Aydin Turkyilmaz, Hakan Sevik, Mehmet Cetin, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Changes in Heavy Metal Accumulation Depending on Traffic Density in Some Landscape Plants // *Pol. J. Environ. Stud*, 2018. – № 27 (5). – P. 2277-2284.
- 4 Aydin Turkyilmaz, Mehmet Cetin, Hakan Sevik, Kaan Isinkaralar, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density // *Environment, Development and Sustainability*, 2020. – № 22. – P. 2385-2398.
- 5 Behnam Asgari Lajayer, Mansour Ghorbanpour, Shahab Nikabadi. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. – № 145. – P. 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.035>.
- 6 Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany // *Journal of Geochemical Exploration*, 2018. – № 187. – P. 97-117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.
- 7 Cristaldi A., Conti G., Eun Heajho E., Zuccarello P., Grasso A., Copat C., Ferrante M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review // *Environmental Technology & Innovation*, 2017. – № 8. – P. 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.
- 8 Ghazala M., Setsuko K. Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants // *Plant Gene*, 2017. – № 11B. – P. 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.
- 9 Ghorri N.-H., Ghorri T., Hayat M. Q., Imadi S. R., Gul A., Altay V. Ozturk M. Heavy metal stress and responses in plants // *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019. – № 16. – P. 1807-1828.
- 10 Nouri H., Borujeni S., Nirola R., Hassanli A., Beecham S., Alaghmand S., Saint C., Mulcahy D. Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation // *Process Safety and Environmental Protection*, 2017. – № 107. – P. 94-107.
- 11 Kaur N., Erickson T., Ball A., Ryan M. A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination – knowledge gaps and recommendations // *Science of The Total Environment*, 2017. – № 603. – P. 728-744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>.
- 12 Ikeura H., Kawasaki Yu., Kaimi E., Nishiwaki J., Noborio K., Tamaki M. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil // *International Journal of Phytoremediation*, 2016. – № 18. – P. 460-466. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1115957>.
- 13 Mahmood Maleki, Mansour Ghorbanpour, Khalil Kariman. Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress // *Journal of Hazardous Materials*, 2017. – № 325. – P. 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.006>.
- 14 Markéta Mayerová, Šárka Petrová, Mikuláš Madaras, Jan Lipavský, Tomáš Šimon, Tomáš Vaněk. Non-enhanced phytoextraction of cadmium, zinc, and lead by high-yielding crops // *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. – № 24. – P. 14706-14716.
- 15 Li J., Zhang D., Zhou P., Liu Q. Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Its Bioaccumulation by Dominant Plants in a Lead-Zinc Mining Area, Nanjing // *Huan Jing Ke Xue*, 2018. – № 39(8). – P. 3845-3853. doi: 10.13227/j.hjcx.201712086.

16 Lim M.W., Lau E.V., Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions // *Marine Pollution Bulletin.*, 2016. – № 109(1). – P. 619-620. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>.

17 Pedroso A., Bussotti F., Papini A., Tani C., Domingos M. Pollution emissions from a petrochemical complex and other environmental stressors induce structural and ultrastructural damage in leaves of a biosensor tree species from the Atlantic Rain Forest // *Ecological Indicators*, 2016. – № 67. – P. 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.054>.

18 Ruf T., Audu V., Holzhauser K., Emmerling C. Bioenergy from Periodically Waterlogged Cropland in Europe: A First Assessment of the Potential of Five Perennial Energy Crops to Provide Biomass and Their Interactions with Soil // *Agronomy*, 2019. – № 9. – 374 pp.

19 Saeed Ahmad Asad, Muhammad Farooq, Aftab Afzal, Helen West. Integrated phytobial heavy metal remediation strategies for a sustainable clean environment - A review // *Chemosphere*, 2019. – № 217. – P. 925-941. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.021>.

20 Shevchyk L.Z., Romanyuk O.I. Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils // *Scientific Journal ScienceRise: Biological Science*, 2017. – № 1(4). – P. 31-39.

21 Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. Investigation of biotechnogenic system formed by long-term impact of oil extraction objects // *Systems, decision and control in energy I, Studies in systems, decision and control*, 2020. – № 298. – P. 165-177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_11.

РЕГІОНАЛЬНІ ТА ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 504.3.054 (477.83)

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-25-31

*Х.-М. М. Чичул, Я. М. Семчук,**Г. Д. Лялюк-Вітер**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЛАНДШАФТУ В ЗОНІ ВПЛИВУ ПІДПРИЄМСТВА БУРШТИНСЬКА ТЕС ПАТ «ДТЕК ЗАХІДЕНЕРГО»

Перетворення первинних носіїв енергії в енергію електричну має переваги та недоліки. Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго", це теплова електростанція, яка для продукції електричної енергії використовує кам'яне вугілля, мазут і природний газ.

Найбільше теплові електростанції впливають на атмосферне повітря, через викиди димових газів та пилу. Також впливають і на інші компоненти довкілля, зокрема на ландшафти. Це приводить до їх антропогенного перетворення.

Розглянуто основні забруднюючі компоненти навколишнього природного середовища. Проведено короткий аналіз наукових праць, присвячених дослідженню впливу теплових електростанцій на довкілля. Проаналізовано наукові праці, в яких висвітлено проблеми впливу на навколишнє середовище Бурштинської ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго". Наведено ландшафтну структуру території, що знаходиться в зоні її діяльності.

За методикою Мельника-Міллера проведено оцінку антропогенного перетворення ландшафту досліджуваної ділянки. Суть її полягає в картуванні території та визначенні відсоткового співвідношення між типами ландшафту на обраній частині. Методика дозволяє кількісно оцінити антропогенну модифікацію території. Рейтинг модифікації залежить від рангу геокомплексу. Встановлено, що ступінь антропогенного перетворення ландшафту складає 40%, а вартість модифікації одного відсотку поверхні становить 4 бали. Побудовано карти з використанням програмного продукту MapInfo.

Результати дослідження свідчать про антропогенну зміну ландшафту. Вони можуть бути використані для подальших постійних спостережень та наукових досліджень впливу Бурштинської ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" на компоненти довкілля та прийняття відповідних рішень щодо його зменшення.

Ключові слова: теплова електростанція, навколишнє середовище, виробництво електроенергії, викиди забруднень, ландшафт, антропогенне перетворення, антропогенна модифікація, оцінка впливу.

Постановка проблеми. Електроенергетика є найважливішою галуззю паливно-енергетичного комплексу України. До її суб'єктів відносяться енергогенеруючі потужності (атомні, теплові, гідроелектростанції, а також електростанції на відновлювальних джерелах енергії), магістральні лінії електропередачі напругою 220-750 кВ і розподільчі електромережі енергопостачальних компаній. Всі ці об'єкти, об'єднані у єдиному режимі роботи і утворюють Об'єднану енергосистему (ОЕС) України, яка в паралельному режимі, зокрема через електромережі "Острова ДТЕК", співпрацює з європейським енергооб'єднанням ENTSO-E [1-2].

Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" для продукції електричної енергії використовує тверде, рідке і газове паливо.

На атмосферне повітря теплова електростанція (ТЕС) впливає через викиди димових газів та пилу. Склад викидів залежить від виду палива, що застосовується, а також від параметрів процесу спалювання. Процес спалювання обумовлений температурою, відношенням кількості повітря до кількості палива та конструкцією котла.

До складу викидів ТЕС входять 6 груп речовин: пил (різного класу дисперсії), діоксиди вуглецю (CO₂), оксиди вуглецю (CO), сірчистий газ (сірчистий ангідрид (SO₂)), три види оксидів азоту (NO_x) і органічні сполуки.

Найбільша кількість пилу виникає в результаті спалювання твердого палива, а в разі спалювання рідкого і газоподібного палива спостерігаються тільки його сліди. Виникнення пилу пов'язане з вмістом у паливі баласту. Пилу властивий комплексний склад. Окрім сажі у ньому є важкі метали, які є дуже небезпечними для здоров'я людей та звірів і можуть мати канцерогенну дію. Важким металам характерна акумуляція в ґрунтах. Кількість пилу, що потрапляє до атмосферного повітря від діяльності Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго", визначається на підставі досліджень вмісту сухого залишку спалювання в спалюваному вугіллі [3].

Оксид вуглецю виникає в результаті спалювання палив з невідповідною кількістю кисню і є токсичним газом для живих організмів, може призвести до смерті від задухи.

Діоксид вуглецю виникає в результаті згоряння вугілля, а також вуглецевмісних субстанцій, що містяться в паливах. Вплив діоксиду вуглецю на довкілля є комплексним. З одного боку, такий газ необхідний для процесів фотосинтезу, а з іншого впливає на парниковий ефект (парниковий газ) [4].

Сірчистий газ виникає в діапазоні полум'я. Кількість його прямо пропорційно залежить від вмісту сірки в паливі. Найбільша кількість SO_2 виникає при спалюванні твердого палива, в разі спалювання природного газу є тільки сліди. Сірчистий газ є токсичним газом з вираженим запахом. Перевищення встановлених норм концентрації шкідливо впливає на дихальні шляхи людського організму, а у рослин спричиняє відмирання листків. Сірчистий при наявності озону перетворюється в дуже небезпечний для навколишнього середовища SO_3 – ангідрид сірчаної кислоти (H_2SO_4), що поєднується в хмарах з водяною парою і випадає на Землю у вигляді кислотних дощів [4].

В процесі спалювання палива виникає три типи оксидів азоту в результаті трьох різних механізмів: термічні оксиди, оксиди палива та швидкі оксиди. Термічні оксиди NO_x виникають при високих температурах спалювання. Їх джерелом є азот, що міститься в повітрі. Оксиди палива виникають в результаті спалення азоту та його сполук, що містяться у паливі. Швидкі оксиди є ефектом дуже швидких радикальних реакцій, що відбуваються при високих температурах. У випадку спалювання вугілля домінуючим є механізм утворення оксидів палива, а при спалюванні рідкого палива (мазуту) механізми утворення термічних та швидких оксидів. Кількість оксидів азоту обумовлюється температурою спалювання [5]. Оксиди азоту подразливо впливають на органи дихання, долучаються до виникнення смогу, зменшують видимість, обмежують нагрівання поверхні Землі сонячним теплом, нищать озоновий шар.

До складу викидів ТЕС входять і органічні сполуки: аліфатичні вуглеводні, поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Оскільки в балансі сировини, що використовується Бурштинською ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго", домінуючим є вугілля, саме й тому його параметри визначають склад димових газів та твердих відходів спалювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу на навколишнє середовище підприємств енергетичної галузі, що базуються на спалюванні вугілля є завжди актуальними. Вивченням такого впливу займаються науковці з різних країн світу [5-9].

Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго", як вугільна електростанція, впливає безпосередньо на атмосферне повітря, а значить і на інші компоненти навколишнього природного середовища регіону, оскільки для виробництва електричної енергії використовує три види палива. При їх спалюванні утворюються димові гази та пил, що спричиняють негативний вплив на атмосферне повітря, адже 75 % всієї маси забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, це газо-димові викиди продуктів спалювання органічного палива [10]. Тому є нагальна потреба постійного моніторингу і контролю за станом атмосферного повітря в зоні антропогенного впливу. Тільки Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго", щорічно викидає в атмосферне повітря понад 9749 тис. т забруднювальних речовин [10].

За категорією екологічної безпеки (КЕБ), згідно з [11], Бурштинська ТЕС належить до підприємств другої категорії небезпеки з нормативною шириною санітарно-захисної зони (СЗЗ) 500 м [10, 11]. Зона забруднення – це територія навколо джерела забруднення атмосфери, в межах якої приземні концентрації забруднювальних речовин перевищують середньодобові гранично допустимі концентрації (ГДКс.д.) для населених пунктів. [10].

Деякі аспекти впливу на навколишнє середовище Бурштинської ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" висвітлили у своїх працях такі українські науковці, зокрема Шувар І. А., Шувар А. І.

[12], Пендерещкий О. В. [13], Зорін Д. О. [14], Панківський Ю. І., Ошуркевич-Панківська О. Є., Осташук М. Б. [10] та ін.

Широке висвітлення проблем та перспектив розвитку вітчизняної енергетики, зокрема теплової (ТЕС, ТЕЦ), наводиться у періодичному виданні «ЕнергоБизнес».

Отже, проблема антропогенного впливу на навколишнє середовище та перетворення ландшафту під впливом забруднень підприємств енергетичної галузі залишається актуальною на сьогоднішній день.

Мета та завдання. Метою роботи є оцінка впливу діяльності Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" на екологічний стан довкілля, зокрема на стан ландшафтів.

Основне завдання полягало в проведенні оцінки антропогенного перетворення ландшафту за допомогою методики Мельника-Міллера [15] та побудова карти антропогенного перетворення ландшафту досліджуваної території за допомогою програмного продукту MapInfo.

Виклад основного матеріалу. Сучасний стан ландшафтів - це результат діяльності людини впродовж багатьох тисячоліть. Під впливом господарської діяльності людини у ландшафтних комплексах відбуваються значні зміни. Натуральні ландшафти повністю замінені антропогенними і процеси антропогенних перетворень ландшафтів продовжують поглиблюватись.

Значне господарське використання ландшафтів розпочалося з другої половини XVIII ст. – першої половини XX ст., що зумовило істотні зміни в природних територіальних комплексах (ПТК), які були спричинені посиленням експлуатації земель та інтенсивним заселенням, а згодом і розвитком ключової галузі народного господарства досліджуваному регіоні - енергетики. У середині 60-тих років XX ст., розпочалась нова епоха розвитку міста Бурштин, що пов'язано саме з початком спорудження електростанції у заплавної долині річки Гнила Липа. Підприємство функціонує тут з 1965 року.

У структурі ландшафтів, які знаходяться в зоні розташування Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" виділяють сільськогосподарські угіддя (28,6%). Серед них є виснажені, які складають 1,6%. Частка лісопаркових насаджень складає 8,02%, куди входять ліси, парки, сади та територія Галицького НПП. Значно меншою у структурі ландшафту є частка луків - 4,84% та осушених луків (2,13%). Велику площу території займає житлова забудова та промислова територія (56,4%).

Для оцінки ступеня антропогенного перетворення ландшафту використано методику Мельника-Міллера (1993) [15]. Суть її полягає в картуванні території та визначенні відсоткового співвідношення між типами ландшафту на обраній ділянці.

Ландшафти є одиницями, котрі охоплюють фізико-географічні та морфогенетичні зони і складають вищі рівні їх структури. Фізико-географічні регіони розглядаються як регіони, які демонструють певний ступінь внутрішньої єдності внаслідок свого географічного розташування, історії розвитку, природи сучасних географічних процесів та взаємозв'язку окремих елементів, що складають цілісну одиницю.

Методика дозволяє кількісно оцінити антропогенну модифікацію території. Рейтинг модифікації залежить від рангу геокомплексу. Оцінка дається на основі закону нерівнозначності взаємодіючих факторів – згідно з яким "найсильнішим" компонентом геокомплексу є гірські породи та рельєф, а "найслабшими" рослинність і тваринний світ.

Залежно від антропогенного процесу та глибини змін компонентів, які він спричиняє, виділяють такі типи модифікацій (табл. 1) [15].

Таблиця 1

Види антропогенних модифікацій, що співвідносяться з певними антропогенними навантаженнями

Індекс модифікації	Антропогенна модифікація	Коефіцієнт модифікації 1 % ПТК, ум.бали	Модифікація ПТК
B_0	Біотична	0	0
B_m	Біо-мікрокліматична	1	100
B_{wm}	Біо-водно-мікрокліматична	2	200
B_{gm}	Біо-грунто-вомікрокліматична	3	300
B_{gwm}	Біо-грунтово-водно-мікрокліматична	4	400
B_{igwm}	Біо-літо-грунтово-водномікрокліматична	5	500

Показник ступеня антропогенного перетворення ландшафту для обраної ділянки обчислюється за формулою:

$$M_{лу} = B_m + B_{wm} + B_{gm} + B_{gwm} + B_{igwm}$$

Відповідно до рисунку та таблиці 2, за формулою ступінь антропогенного перетворення ландшафту досліджуваної ділянки характеризується значенням:

$$M_{лу} = 4,84 \cdot 1 + 2,13 \cdot 2 + 27 \cdot 3 + 1,6 \cdot 4 + 56,4 \cdot 5 + 8,2 \cdot 0 = 378,5$$

Згідно з [15] показник 378,5 свідчить про ступінь антропогенного перетворення 40%, а вартість модифікації одного відсотку поверхні становить 4 бали.

Таблиця 2

Показники для оцінки ступеня антропогенного перетворення ландшафту м. Бурштин за методикою Мельника-Міллера

Показник	Тип ландшафту	Площа, км ²	Частка, %
<i>B_m</i>	Луги		4,84 %
	Луги	1,003398 км ²	4,73 %
	р. Гнила Липа	0,02343 км ²	0,11 %
	Осушені луги	0,450979 км ²	2,13 %
<i>B_{gwm}</i>	Сільськогосподарські угіддя		28,6
	Сільськогосподарські угіддя	5,72381 км ²	27 %
	Виснажені сільськогосподарські землі	0,340251 км ²	1,6 %
<i>B_{gm}</i>	Лісо-паркові насадження		8,02%
	Ліси	0,8471 км ²	-
	Парки та сади	0,651762 км ²	-
	Території Галицького НПП	0,19992 км ²	-
<i>B_{igwm}</i>	Забудова		56,4 %
	Промислові території	0,250716 км ²	-
	Селітебна зона	4,171158 км ²	-
	Дороги	0,99725 км ²	-
<i>B_{wm}</i>	Водні об'єкти		
	Штучне водосховище	5,340 км ²	25,20 %
	р.Гнила Липа	0,02343 км ²	0,11 %

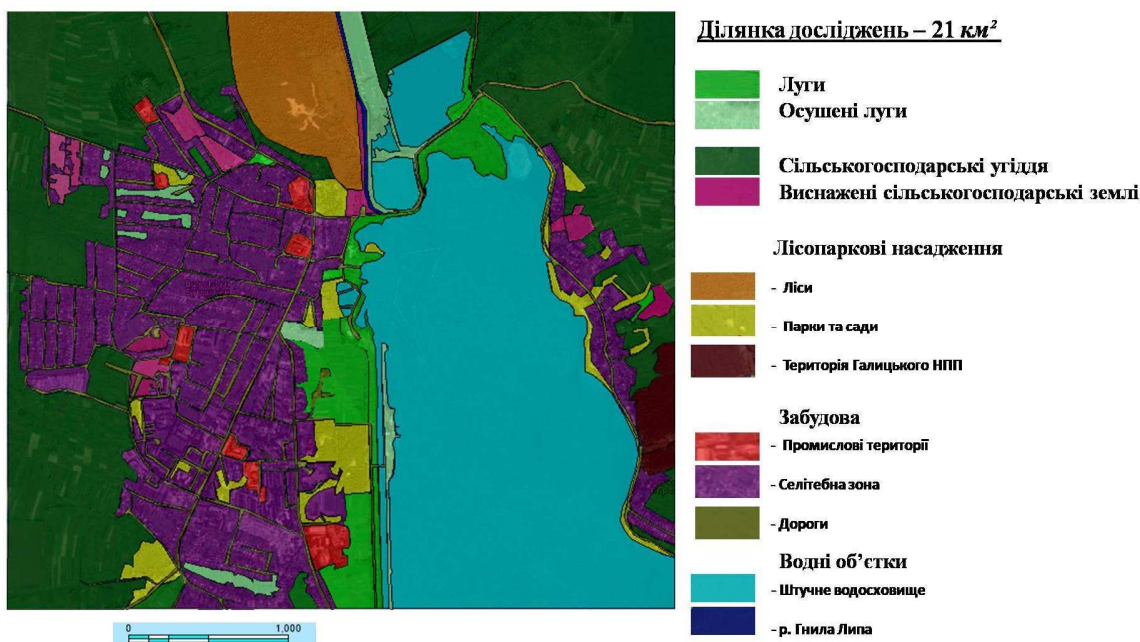


Рис. Картування оцінки ступеня антропогенного перетворення ландшафту за методикою Мельника-Міллера

Висновки. Аналіз структури ландшафтів, які знаходяться в зоні розташування Бурштинської ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" показує, що велику площу займає житлова забудова та промислова територія (56,4%) та сільськогосподарські угіддя (28,6%). Серед яких є виснажені, що складають 1,6%. Частка лісопаркових насаджень складає 8,02% (ліси, парки, сади та територія Галицького НПП). Значно меншою у структурі ландшафту є частка луків - 4,84% та осушених луків (2,13%).

Вперше в результаті дешифрування кадастрових карт населених пунктів поблизу Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго" створено карту, на основі якої детально досліджено антропогенну модифікованість ландшафтів. Загальна антропогенна модифікованість даної території складає 378,5 ум. балів, тобто 40 % .

Отже, Бурштинська ТЕС ПАТ "ДТЕК Західенерго, як теплова (вугільна) електростанція, впливає на компоненти навколишнього природного середовища регіону, що призводить до антропогенних змін ландшафту. Заміна натуральних (природних) ландшафтів антропогенними не може забезпечити збалансований розвиток адміністративної одиниці території чи певного регіону, а може навіть прискорити негативні процеси в природному середовищі. Це вимагає подальших ґрунтовних досліджень.

Література

- 1 [Електронний ресурс]. - Режим доступу до док.: <http://mre.kmu.gov.ua>.
- 2 Енергетична стратегія України на період до 2030 року. МЕНРП, 2013 [Електронний ресурс]. - Режим доступу до док.: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
- 3 Чичул Х.-М. М. Екологічна оцінка вугільного палива ДТЕК Бурштинської ТЕС та проект додаткових природоохоронних заходів. Магістерська робота, м. Івано-Франківськ, 2017-147 с.
- 4 Michalak J. Wybrane aspekty oddziaływania elektrowni na środowisko. Przegląd elektrotechniczny, SIGMA-NOT, 90, 152-156, 2014.
- 5 Lorenz U., Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczenia. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje, 64. Wyd. Instytut GSMiE PAN, s. 97-112, Kraków, 2005.
- 6 Gajda A.: Energetyka zawodowa ma ograniczone możliwości redukcji emisji CO2 w perspektywie do 2020 roku. Biuletyn Miesięczny PSE SANr 7/8 (157/158), Wyd. PSE S.A., lipiec/sierpień 2004.
- 7 Electric Power Systems: Advanced Forecasting Techniques and Optimal Generation Scheduling, CRC PRESS (TAYLOR & FRANCIS), Boca Raton, Florida, USA, ISBN: 978-1-4398-9394-4, March 2012.
- 8 Behar F., Beaumont V., Penteadó H.L.De B., 2001. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, 56, 111-134.
- 9 De Souza G.F.M. (ed.), 2012. Thermal Power Plant Performance Analysis. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- 10 Панківський Ю. І., Ошуркевич-Панківська О. Є., Осташук М. Б. Оцінювання впливу Бурштинської ТЕС на атмосферне повітря. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(5). С. 59–62.
- 11 Apostoliuk, S. O., Dzhyhyrei, V. S., & Sokolovskyi, I. A. (2012). Promyslova ekolohiia (2nd ed.). Kyiv: Znannia, 403 p. [in Ukrainian].
- 12 Шувар І. А., Шувар А. І. Екологічні аспекти формування агроценозів у зоні впливу Бурштинської ТЕС. VIII Международная научно-практическая Интернет-конференция «Спецпроект: анализ научных исследований» (30–31 мая 2013г.).
- 13 Пендерещкий О.В. Екологічна оцінка впливу на довкілля крупного енергетичного об'єкту (на прикладі Бурштинської ТЕС). Вісник Харківського інституту соціального прогресу. Серія: екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес, вип. 1 (6), 2004. - С. 62-71.
- 14 Зорін Д.О. Екологічна безпека Дністровського каньйону як регіонального коридора національної екологічної мережі України / Д.О. Зорін // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2011. – № 2 (4). – С. 44–55.
- 15 Melnyk A., Miller G. (1993). Landscape monitoring. Kyiv. [In Ukrainian]. [Мельник А. В., Міллер Г.П. Ландшафтний моніторинг. Київ, 1993. 152 с.]

*Kh.-M. Chychul, Ya. Semchuk,
H. Lialiuk-Viter
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

**ASSESSMENT OF THE ANTHROPOGENIC LANDSCAPE TRANSFORMATION
WITHIN THE AREA AFFECTED BY BURSHTYNSKA THERMAL POWER PLANT
OF PJSC «DTEK ZAKHIDENERGO»**

The conversion of primary energy sources into electrical energy has advantages and disadvantages. Burshtyn Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo” is a thermal power plant that uses coal, fuel oil and natural gas to produce electricity.

Thermal power plants have the greatest impact on the air due to emissions of flue gases and dust. They also affect other components of the environment, in particular the landscape. This causes its anthropogenic transformation.

The main polluting agents of the environment have been considered in this paper. It also contains a brief analysis of the scientific papers devoted to the study of the impact of thermal power plants on the environment, as well as a review of the scientific papers that highlight the environmental impact of Burshtynka Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo”. The landscape structure of the territory located within the operation area is provided.

The anthropogenic landscape transformation on the study area was assessed according to the Melnyk-Miller method. Its essence is to map the area and determine the percentage of landscape types in the selected area. The method helps to quantify the anthropogenic modification of the territory. The modification rating depends on the geocomplex rank. The degree of anthropogenic landscape transformation was defined to be 40% and the modification cost of one percent of the surface accounted for 4 points. The maps were built using MapInfo software.

The research findings show the anthropogenic landscape change. They can be used for further observations and research of the impact of Burshtynska Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo” on the environmental components and to make appropriate decisions on its reduction.

Key words: Thermal Power Plant, environment, electricity production, pollution emissions, landscape, anthropogenic transformation, anthropogenic modification, impact assessment.

References

- 1 [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu do dok.: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
- 2 Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku. MEVPU, 2013 [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu do dok.: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
- 3 Chychul Kh.-M. M. Ekolohichna otsinka vuhilnoho palyva DTEK Burshtynskoi TES ta proekt dodatkovykh pryrodokhoronnykh zakhodiv. Mahisterska robota, m. Ivano-Frankivsk, 2017-147 s.
- 4 Michalak J. Wybrane aspekty oddziaływania elektrowni na środowisko. Przegląd elektrotechniczny, SIGMA-NOT, 90, 152-156, 2014.
- 5 Lorenz U., Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje, 64. Wyd. Instytut GSMiE PAN, s. 97-112, Kraków, 2005.
- 6 Gajda A.: Energetyka zawodowa ma ograniczone możliwości redukcji emisji CO2 w perspektywie do 2020 roku. Biuletyn Miesięczny PSE SANr 7/8 (157/158), Wyd. PSE S.A., lipiec/sierpień 2004.
- 7 Electric Power Systems: Advanced Forecasting Techniques and Optimal Generation Scheduling, CRC PRESS (TAYLOR & FRANCIS), Boca Raton, Florida, USA, ISBN: 978-1-4398-9394-4, March 2012.
- 8 Behar F., Beaumont V., Penteadó H.L.De B., 2001. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, 56, 111-134.
- 9 De Souza G.F.M. (ed.), 2012. Thermal Power Plant Performance Analysis. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- 10 Pankivskyi Yu. I., Oshurkevych-Pankivska O. Ye., Ostashuk M. B. Otsiniuvannia vplyvu Burshtynskoi TES na atmosferne povitria. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2017. Vyp. 27(5). S. 59–62
- 11 Apostoliuk, S. O., Dzhyhyrei, V. S., & Sokolovskyi, I. A. (2012). Promyslova ekolohiia (2nd ed.). Kyiv: Znannia, 403 p. [in Ukrainian].

12 Shuvar I. A., Shuvar A. I. Ekolohichni aspekty formuvannia ahrotsenoziv u zoni vplyvu Burshtynskoi TES. VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya Internet-konferentsiya «Spetsproekt: analiz nauchnyh issledovaniy» (30–31 maya 2013g.).

13 Penderetskyi O.V. Ekolohichna otsinka vplyvu na dovkillia krupnogo enerhetychnoho ob'ektu (na prykladi Burshtynskoi TES). Visnyk Kharkivskoho instytutu sotsialnoho prohresu. Serii: ekolohiia, tekhnohenna bezpeka i sotsialnyi prohres, vyp. 1 (6), 2004. - S. 62-71.

14 Zorin D.O. Ekolohichna bezpeka Dnistrovskoho kanionu yak rehionalnoho korydora natsionalnoi ekolohichnoi merezhi Ukrainy / D.O. Zorin // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. – 2011. – № 2 (4). – S. 44–55.

15 Melnyk A., Miller G. (1993). Landscape monitoring. Kyiv. [In Ukrainian]. [Melnyk A. V., Miller H.P. Landshaftnyi monitorynh. Kyiv, 1993. 152 s.].

*А. М. Новікова, В. В. Яковлев,
Д. В. Дядін*

*Харківський національний університет
міського господарства ім. О.М. Бекетова*

ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ТА ДОСТУПНОСТІ РЕСУРСІВ ДЖЕРЕЛЬНИХ ВОД ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Роботу присвячено оцінці придатності джерел Харківської області для альтернативного і резервного питного водопостачання, яка ґрунтується на визначенні кількісних характеристик джерельних вод, особливостей облаштування джерел та їхнього розташування. Визначено, що найбільш сприятливі для джерельного стоку гідрогеологічні умови спостерігаються на ділянках широкого розвитку порово-пластового водоносного горизонту межигірської свити та тріщинуватих відкладів обухівської свити еоцену з відносно глибокою розчленованістю рельєфу у долинах річок і балках. На платформі ArcGIS Online авторами створена відкрита база геоданих, яка містить інформацію стосовно 513 джерел Харківської області і доступна за посиланням: <https://arcg.is/0SKLvO>. Визначено, що 45% досліджених джерел локалізовані у межах населених пунктів або на відстані ближче 1 км, тобто у зоні пішої доступності для використання. Найбільша щільність джерел і забезпеченість джерельним стоком зафіксовані у північній частині області. Кількісний аналіз наявних ресурсів джерельних вод показав, що лише за рахунок денного стоку, який становить не менше 400 л/с, вивчені джерела здатні забезпечити питною водою населення всієї Харківської області. Значна частина природних джерел області ще не вивчена та/або не облаштована каптажами. За умови довивчення й облаштування ємностей для накопичення води в нічний час джерела потенційно здатні забезпечити не тільки питні, але й побутові і гігієнічні потреби у воді населення всієї області. Проведений аналіз дозволяє обґрунтовано стверджувати про можливість використання водних джерел для децентралізованого питного водопостачання під час надзвичайних ситуацій за умови облаштування каптажів і підходів до них, а також реалізації заходів щодо збереження якості підземних вод в областях формування джерельного стоку.

Ключові слова: водне джерело, резервне питне водопостачання, підземні води, дебіт, якість води, водозабезпеченість, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Ресурси питної води мають основоположне значення для людства та необхідні для життєзабезпечення і підтримки здоров'я людей. На Конференції ООН зі сталого розвитку, яка відбулася в Ріо-де-Жанейро (РІО+20), до безпеки водокористування, враховуючи стратегічне значення у забезпеченні питного, господарського та технічного водопостачання, було віднесено 30 природоохоронних цілей. І тільки по одній з них – розширення доступу до чистої питної води – відмічено значний прогрес. Щодо формування якості води, яка визначає безпеку водокористування, у світі зберігається тенденція в бік її погіршення [1].

Проблема забезпечення населення питною водою високої якості вкрай актуальна для України. Відповідно до міжнародних стандартів, Україна належить до маловодних країн, (загальний обсяг внутрішніх відновлюваних ресурсів у розрахунку на одну людину становить 710 м³/рік) [2]. При цьому ресурси на території країни розподілені вкрай нерівномірно. Кризовий стан водокористування посилюється наявністю у країні надзвичайно висоководоємних виробництв та водоємних технологій, а також високим рівнем питомого централізованого постачання, яке базується на використанні переважно поверхневих вод та перебуває в більшості областей країни в аварійному стані. Крім незадовільного екологічного стану, поверхневі джерела водопостачання дуже вразливі у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу сучасного стану водопостачання в Харківській області, проблемі виявлення перспективних джерел чистих природних вод та наукового обґрунтування можливості їх використання для питного водопостачання присвячені праці Прибилової В. М., Яковлева В. В., Клименка В. Г. [2–4]. Як свідчать проведені дослідження, перспективним напрямком вважається використання для питного водопостачання населення Харківської області підземних, у тому числі джерельних, вод [5–7]. Але, незважаючи на тривалий період досліджень природних джерел області (починаючи з середини ХІХ століття) та спроби

систематизації даних про ресурси, якість води та облаштованість джерел, залишається ціла низка невирішених питань, які не дозволяють на даний час однозначно визначити перспективи використання джерел для питного та іншого водопостачання.

Зокрема, одним із важливих аспектів проблеми забезпечення населення питною водою є передбачення реальних і потенційних загроз функціонуванню систем водопостачання [8, 9]. Харківська область належить до регіонів з розвинутими небезпечними екзогенними геологічними процесами, такими як підтоплення, зсувні явища, просадка ґрунтів, що є однією з причин погіршення еколого-санітарного стану та умов експлуатації мереж водопостачання та техногенна активізація яких може спровокувати виникнення техногенних катастроф [10, 11]. У Національних доповідях про стан навколишнього середовища в Україні за період з 2009 по 2018 рік зафіксовано 72 надзвичайні ситуації, які мали негативний вплив на якість водопостачання в 17 областях України, найчастіше – у Донецькій, Запорізькій, Харківській та Херсонській. Більшість надзвичайних ситуацій, які спостерігались протягом зазначеного періоду, пов'язані з техногенним впливом, який зазнавали системи централізованого водопостачання, облаштовані з поверхневих водозаборів. Завдяки більшій захищеності підземні води мають значний потенціал для організації системи водопостачання під час надзвичайних ситуацій.

Постановка завдання. Мета дослідження – оцінити придатність джерел Харківської області для питного водопостачання на основі визначення кількісних і якісних характеристик джерельних вод, особливостей розташування та облаштування джерел та розробити рекомендації щодо використання джерел в якості резерву для питного водопостачання у надзвичайних умовах.

Виклад основного матеріалу. Згідно з гідрогеологічним районуванням України більша частина території Харківської області знаходиться в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну і лише її крайня південно-східна частина відноситься до гідрогеологічної провінції Донецької складчастої області. Похиле залягання товщ, перешарування порід з різною водопроникністю, наявність розривних тектонічних порушень обумовили розвиток на досліджуваній території складної системи водоносних горизонтів [12]. Основні водоносні горизонти, які містять підземні води придатні для питного водокористування, на більшій частині території області відносяться до зони активного водообміну, мають гідравлічний зв'язок із поверхнею та розвантажуються у вигляді джерел у долинах річок та балках. Це води відкладів крейдової, палеогенової та неогенової систем, представлені новопетрівським, буцацько-канівським, межигірським, крейдово-мергельним та сеноман-нижньокрейдовим водоносними горизонтами. Більшість досліджуваних джерел пов'язана з межигірсько-обухівським водоносним комплексом, який поширений практично на всій території області. Джерела комплексу в основному низхідні і відносяться переважно до порових, рідше – тріщинних вод [13].

З метою визначення забезпеченості населення Харківської області джерельними водами була проведена інвентаризація джерел за даними польових досліджень, літературними даними та картографічними матеріалами, зокрема, відкритими веб-геосервісами (OpenStreetMap, Wikimapia). У результаті на платформі ArcGIS Online була створена база геоданих, яка містить інформацію стосовно 513 джерел (рис. 1а), доступна для перегляду за посиланням: <https://arcg.is/0SKLvO>. Структура бази даних побудована на найважливіших характеристиках джерел: місце розташування джерела; назва найближчого водотоку, до басейну якого належить джерело; водозбірний басейн та його код; висота відносно рівня моря (м); дебіт (л/с); опис та технічний стан каптажу джерела.

Із використанням інструментів геопросторового аналізу далі було визначено розподіл джерел по адміністративних районах (рис. 2).

На підставі проведеного аналізу встановлено, що джерела розташовані на території області нерівномірно. Більшість з досліджуваних джерел зосереджено в центральній та північній частині області в Харківському, Чугуївському, Зміївському та Дергачівському районах (87, 66, 51 та 48 джерел відповідно). Найменша кількість джерел спостерігається в Богодухівському, Великобурлуцькому, Дворічанському і Лозівському районах (2, 2, 3 та 3 джерела відповідно). У деяких районах (Зачепилівський, Красноградський, Коломацький) відомості про джерела відсутні. Це пояснюється більш сприятливими гідрогеологічними умовами центральної та північної частини області – межигірсько-обухівські та неоген-четвертинні відклади на цій території мають значні товщини та площі розповсюдження [13] і прорізаються долинами не лише крупних річок (рр. Сіверський Донець, Уди), але й середніх і малих за площею водозбору водотоків (рр. Лопань, Харків, Немишля, Роганка, Велика Бабка та інші). З іншого боку, менша

кількість джерел в окремих районах може бути пов'язана з недостатньою вивченістю цих територій.

Аналіз розташування джерел по адміністративних районах Харківської області дозволив виявити малозабезпечені джерельною водою райони, які потребують розроблення окремого плану дій під час надзвичайних ситуацій.

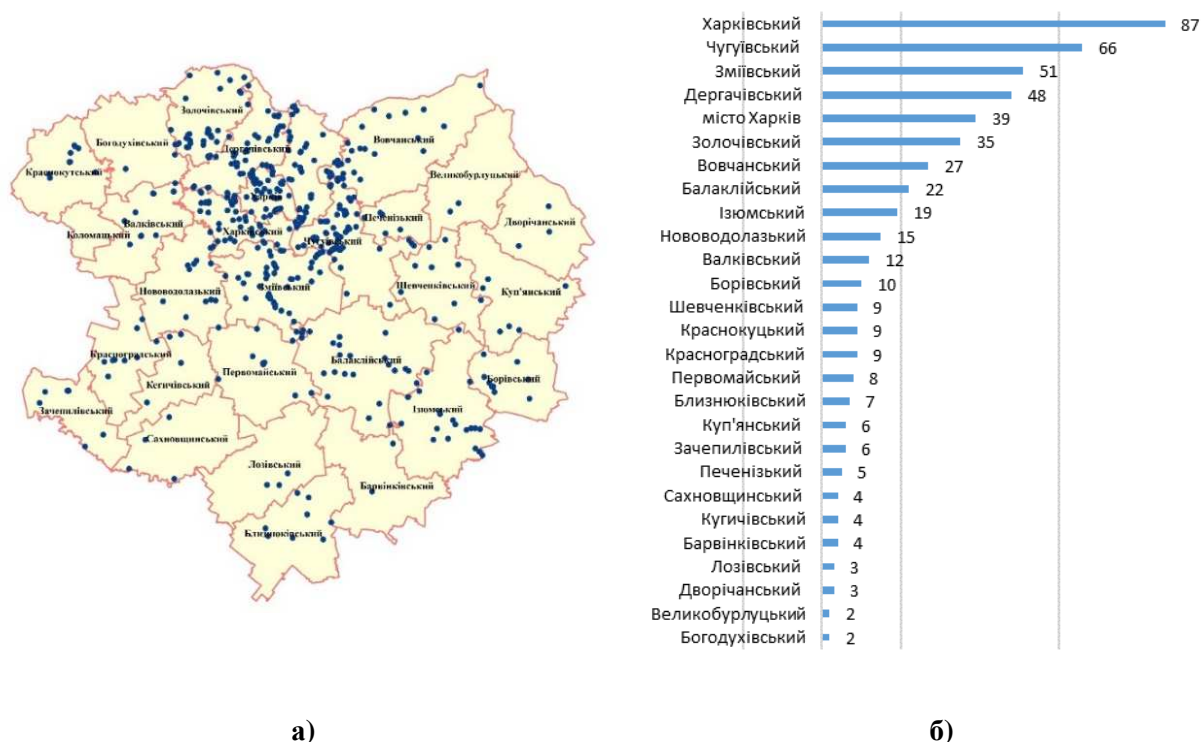


Рис. 1. Карта-схема розташування досліджених джерел на території Харківської області (а) та розподіл їхньої кількості по адміністративних районах (б)

Також був проведений аналіз розподілу джерел Харківської області за їх приналежністю до річкових басейнів. На основі цифрової моделі рельєфу SRTM 30 м у межах Харківської області ми виділили 8 річкових суббасейнів у басейні р. Сіверський Донець (SD01–SD8) та суббасейни річок Ворскла (VR01), Оріль (OR01) і Самара (SM01) (рис. 2).

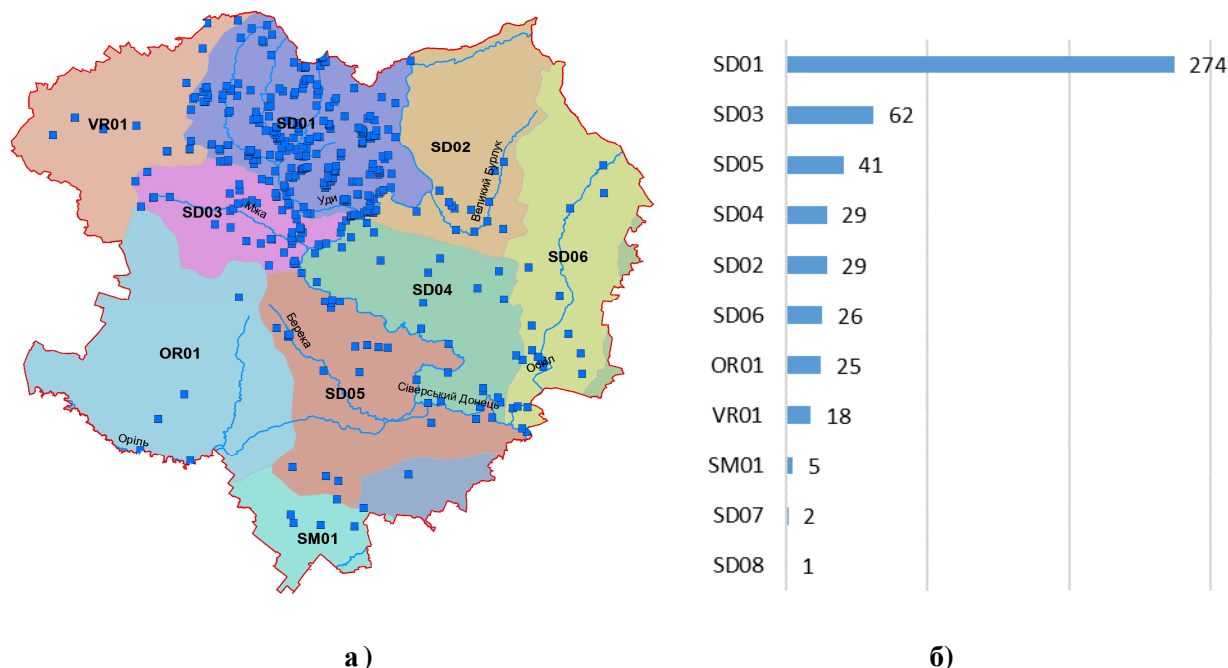


Рис. 2. Карта-схема розташування джерел у межах річкових суббасейнів на території Харківської області (а) та розподіл кількості джерел по річкових басейнах області (б)

Встановлено, що найбільша кількість задокументованих джерел – більше 50 % – належить до басейну р. Сіверський Донець з її притоками рр. Уди та Велика Бабка (SD01). Найменша кількість джерел (менше 1%) приурочена до басейну Сіверського Донця з притоками Казенний Торець, Бахмут (SD08) та Жеребець, Красна, Борова (SD07), а також до басейну р. Самара (SM01). В інших річкових суббасейнах на території області джерела розташовані відносно рівномірно, а їх кількість у межах басейнів коливається від 3 % до 12 %.

Найважливішим показником для визначення продуктивності водозаборів при оцінці запасів підземних вод є дебіт або витрата ($\text{м}^3/\text{добу}$, л/с). Для досліджуваного масиву джерел нам відомі дані дебіту лише 129 джерел або 25,1% від загальної кількості. Дебіт переважної більшості цих джерел встановлювався шляхом прямих вимірювань у рамках даного дослідження, а також попередніх науково-дослідних проектів кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Для джерел із обладнаним витіканням води з водорозбірних труб вимірювання витрати здійснювали з використанням тари фіксованого об'єму та секундоміру. Для джерел, каптаж яких улаштовано у вигляді водоприймальної ємності (колодязя, ями), з якої витікає вода жолобом, дебіт вимірювався у водовідвідному жолобі (канаві) безпосередньо на місці витікання. При цьому вимірювали ширину, глибину і швидкість потоку води у струмку на певному його відрізку.

Дебіт досліджуваних джерел Харківської області коливається у дуже широких межах – від 0,005 до 38 л/с. Відповідно до класифікації джерел за дебітом [14] переважна більшість досліджених джерел (61,2%) належать до малодебітних (< 1,0 л/с). Із них 16 джерел (12,4% від загальної кількості) мають дебіт менше 0,1 л/с і 63 джерела (48,8%) мають дебіт 0,1–1,0 л/с. Кількість середньодебітних джерел (1,0–10,0 л/с) становить 35,6 %. Великодебітних джерел (> 10 л/с) налічується всього 3,1%, вони представлені джерелами у селищах Великі Проходи, Волохів Яр («Святе джерело»), Протопопівка («Старий Ключ»), Саржин яр у м. Харків (рис. 3).

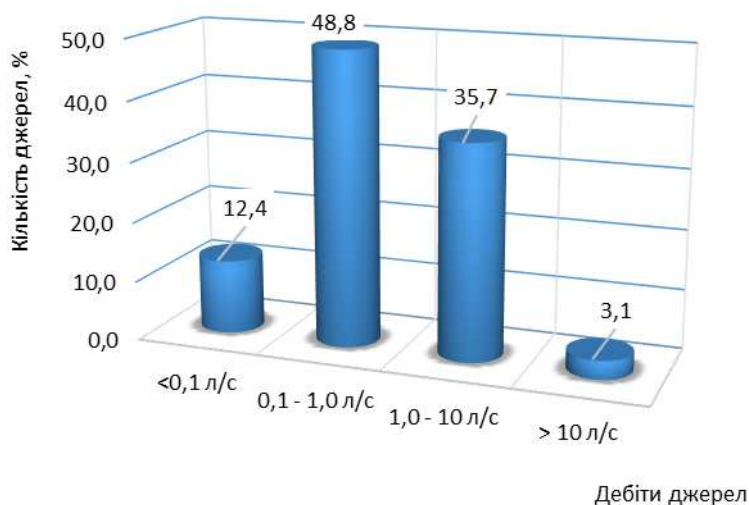


Рис. 3. Класифікація досліджених джерел Харківської області за дебітом у %

Виходячи з даних щодо дебіту джерел, можна оцінити забезпеченість населення джерельною водою S , яка визначається за формулою (1):

$$S = \left(\frac{d}{p}\right) * 60 * 60 * 24 \quad (1)$$

де S – забезпеченість (л/добу на особу); d – дебіт (витрата) джерела (л/сек); p – кількість населення (осіб).

На підставі визначення кількісних характеристик ресурсів джерельних вод була розрахована забезпеченість населення області та окремих адміністративних районів джерельними водами. Сумарна витрата джерельних вод зі всіх досліджених джерел із відомим дебітом становила 402 л/с або близько 14,5 млн л за світовий день (10 годин), що відповідає забезпеченості близько 4,8 млн споживачів з урахуванням фізіологічної потреби організму людини у воді, яка складає у середньому 3,0 л/добу на особу [15, 16]. Тобто теоретично, за умов задовільної якості джерельної води, лише досліджені джерела з відомим нам дебітом здатні на 180 % забезпечити питною водою

населення Харківської області. Якщо ж врахувати, що ці джерела становлять лише 25% від загальної кількості джерел, зафіксованих на території області, і додати до них ті джерела, які наша оцінка, можливо, оминула – стає очевидним, наскільки потужним потенційним ресурсом питної води володіє область.

У разі відключення централізованого водопроводу під час надзвичайних ситуацій виникає необхідність у використанні води не лише для питних потреб, а і для побутових і гігієнічних. Середній рекомендований обсяг води, що використовується разом для пиття та побутової гігієни становить 15 літрів на людину в день [16]. У такій схемі водокористування досліджені джерела з відомим дебітом здатні забезпечити водою приблизно 1 млн споживачів, що відповідає 37% населення області.

Але, попри загальні високі кількісні показники джерельних вод, має місце нерівномірність їх розподілу за площею. Тому, важливим елементом оцінки придатності окремо взятого джерела для водокористування виступає його просторова доступність для споживачів. За допомогою геоінформаційних засобів програмного комплексу ArcGIS 10.6.1 ми провели оверлейний аналіз просторового взаємного розташування джерел та полігонів населених пунктів області.

Результати аналізу показали, що загальна кількість джерел, розташованих у межах населених пунктів, які можна вважати найбільш зручними для використання за умов задовільної якості води, становить 142 джерела або 28 % від загальної кількості досліджених джерел області. Із них 37 джерел розташовані у межах території міста Харків, кількість населення якого майже дорівнює чисельності населення решти області. Найвища кількість джерел, розташованих у межах населених пунктів області, зафіксована у Харківському районі – 24 джерела, а найменша – 1 джерело у 7 районах, переважно у південній частині області (рис. 4). У деяких районах не виявлено джерел у межах населених пунктів, наприклад у Балаклійському, Борівському, Великобурлуцькому, Дворічанському та Краснокутському, але, скоріше за все, це пов'язано з недостатнім вивченням цих районів.

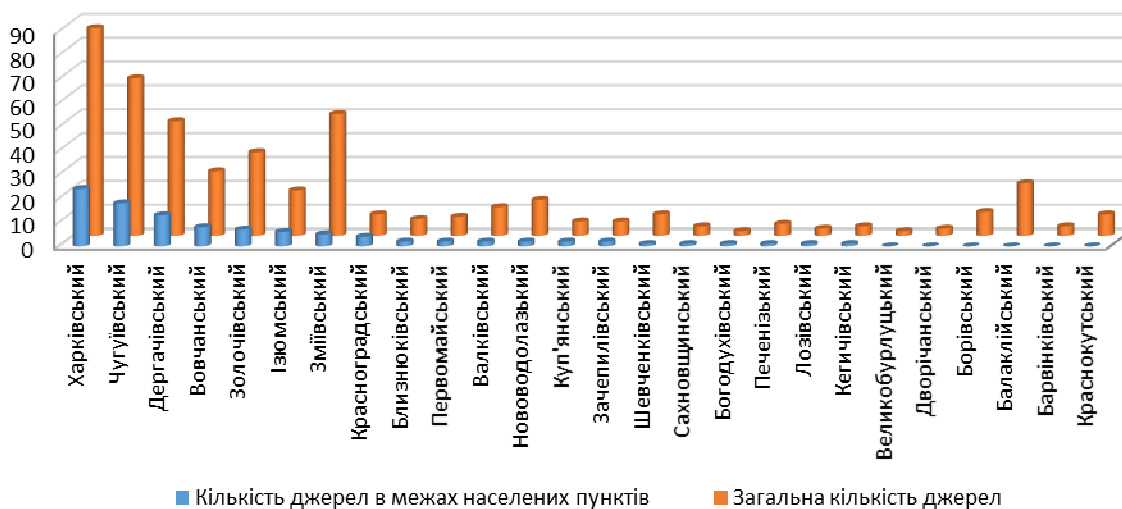


Рис. 4. Кількість джерел, розташованих у межах населених пунктів, по відношенню до загальної кількості джерел у районі

Для аналізу віддаленості джерел, розташованих поза межами населених пунктів, були визначені точки-центроїди полігонів населених пунктів та за допомогою інструментів мережевого аналізу були визначені відстані від кожного джерела до центроїду найближчого населеного пункту. У результаті ми відокремили джерела, розташовані на відстані менше 1 км, які теоретично доступні для відвідування пішки, та джерела, розташовані на відстані більше 1 км, до яких зручніше дістатися автомобілем (рис. 5). Таким чином було встановлено, що найбільша кількість джерел розташовані на відстані більше 1 км від населених пунктів, тобто поза зоною пішої доступності.

Для більшої наочності була побудована діаграма розташування джерел за відстанню до населених пунктів по адміністративних районах (рис. 6).

Найбільша кількість джерел, які розташовані за межами населеного пункту на відстані менше 1 км зафіксовані у Дергачівському районі (12 джерел), найменша кількість представлена в Борівському, Великобурлуцькому, Дворічанському, Краснокутському та Куп'янському районах (1 джерело). На відстані від населеного пункту більше 1 км найбільша кількість джерел розташовані в Харківському районі (54 джерела), найменша – у Великобурлуцькому та Богодухівському районах (1 джерело). Для використання таких джерел необхідний автотранспорт та облаштовані під'їзди до них.

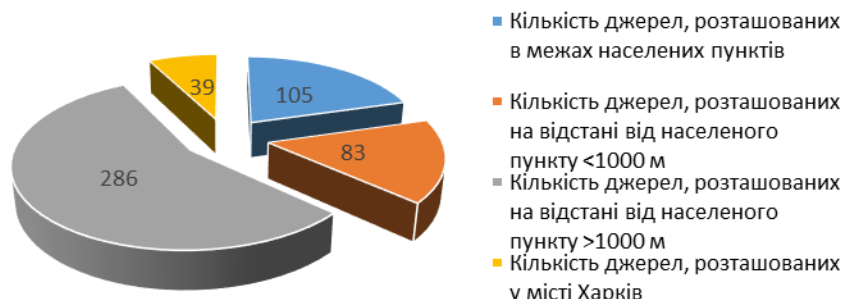


Рис. 5. Розташування джерел відносно населених пунктів



Рис. 6. Розташування джерел відносно населених пунктів за районами Харківської області

Висновки. Джерельні води Харківщини є цінним ресурсом та можуть бути використані для задоволення потреб населення у питній воді. Це пов'язано з такими властивостями джерельних вод, як відносна природна захищеність та самоплинність. Окрім альтернативного джерела забезпечення переважно сільського населення питною водою, вони можуть відігравати більш важливу роль як запасні джерела питного водопостачання в періоди надзвичайних ситуацій – техногенних аварій і природних катастроф. При цьому слід враховувати, для використання джерельних вод не потрібна електроенергія та інші ресурси, окрім витрат на удосконалення каптажу, облаштування під'їзних шляхів і розвезення води.

На підставі аналізу просторового розміщення джерел на території області визначені райони, де джерела відсутні або не виявлені, що потребує проведення додаткових досліджень. Між тим, визначення кількісних характеристик ресурсів джерельних вод, зокрема, сумарного стоку зі всіх досліджених джерел, який становив 402 л/с, дозволило зробити висновок про забезпеченість близько 4,8 млн. споживачів на добу джерельною водою при нормі водоспоживання для питних цілей 3,0 л/добу на особу. Тобто теоретично, за умов задовільної якості води, джерела здатні забезпечити виключно питною водою все населення Харківської області. Проведені дослідження свідчать про те, що найбільша кількість джерел розташовані на відстані більше ніж 1 км від

населених пунктів, тобто поза зоною пішої доступності та потребують облаштування під'їздів до них та використання автотранспорту.

Отримані результати можна сприймати як попередні і орієнтовні для визначення можливості використання джерельних вод в якості додаткового джерела питного водопостачання. Продовження досліджень є особливо актуальним на рівні об'єднаних територіальних громад. Це дозволить визначити умови використання джерел в якості альтернативних джерел питного водопостачання при надзвичайних ситуаціях.

Для використання джерела в умовах резервного децентралізованого водопостачання необхідна розробка плану використання ресурсів джерельної води, з метою уникнення надмірної завантаженості відомих та найбільш дебітних джерел, який може містити такі заходи:

- облаштування резервуару накопичення джерельної води з метою зменшення втрат води в моменти неактивного часу доби; організація під'їздів та розворотів для автотранспорту;
- організація освітлення та охорони території; впровадження системи електричних і ручних насосів.

За результатами досліджень і з урахуванням передового вітчизняного і зарубіжного досвіду можна рекомендувати такі методи очистки та знезаражування джерельних вод, враховуючи їх специфічні особливості: від органічних речовин – сорбційний метод на активному вугіллі; від солей жорсткості – реагентне або іонообмінне зм'якшення; від сполук азоту – сорбцію на селективних іонообмінниках; знезаражування ультрафіолетовим опроміненням.

Дослідження проведені у рамках бюджетної науково-дослідної роботи 53-71/18 «Підвищення безпеки питного водопостачання населення Східної України в умовах надзвичайних ситуацій шляхом використання джерельних вод» за підтримки Міністерства освіти та науки України.

Література

- 1 Schmoll O. G. Protecting Groundwater for Health Managing the Quality of Drinking-water Sources / O. Schmoll, G. Howard, J. Chil, I. Chorus // World Health Organization. London : IWA Publishing, 2006. 697 p.
- 2 Прибилова В. М. Підземні водні ресурси Харківської області та стратегія їх використання для водопостачання населення. Вісник Харківського національного університету. Геологія. Географія. Екологія. Харків, 2015. № 1157. Вип. 42. С. 37-44.
- 3 Яковлев В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... доктора геол. наук : 21.06.01. Харків, 2017. 351 с.
- 4 Клименко В. Г. Територіальні особливості водно-ресурсного потенціалу Харківської області. Вісник Харківського національного університету. Геологія. Географія. Екологія. Харків, 2008. № 824. Вип. 29. С. 127-130.
- 5 Яковлев В. В. Джерельні води Харківської області як джерело питного водопостачання. Вісник Харківського національного університету. Харків, 2014. № 1098. Вип. 40. С. 63-72.
- 6 Дмитренко Т. В., Яковлев В. В. Первоочередные задачи изучения родников как возможного источника питьевого водоснабжения в Харьковской области. Коммунал. хоз-во городов. Науч.-техн. сб. К.: Техніка. Вип. 74. 2006. С. 211-214.
- 7 Davis D., Diadin D., Shores A., Khandogina O., Laituri M. Capacity of urban springs to support emergency water needs, a Secondary City case study: Kharkiv, Ukraine. Urban Water Journal. 2020. 17:4. P. 368-376.
- 8 Privarova R., Mihokova Jakubcekova J. Selecting a replacement source of water for emergency supplies in case of emergency. Procedia Engineering. 2017. 192. p. 737-742.
- 9 Pérez-Vidal A., Carlos Escobar-River J., Torres-Lozada P. Development and implementation of a water-safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2020. Vol. 224. 113422.
- 10 Пронюк А.В. Моніторинг стану підземних вод. Вестник ХНАДУ. Харьков, 2012. Вип.59. С. 129 – 131.
- 11 Коммунальная гигиена / К.И.Акулов, К.А.Буштуева, Е.И.Гончарук и др.; /Под ред. К.И.Акулова и К.А.Буштуевой. Москва: Медицина, 1986. 606 с.
- 12 Кононенко А.В. Чинники еколого-гідрогеологічної еволюції хімічного складу підземних вод мергельно-крейдянського водоносного горизонту Дніпровсько-Донецької западини : дис. кандидата геол. наук: 21.06.01. К., 2019. 188 с.

13 Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Серія: Дніпровсько-Донецька. Аркуші: М-37-ХІІІ (Белгород), М-37-ХІХ (Харків) – Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Казенне підприємство “Південукргеологія”, 2007. 171 с.

14 Справочное руководство гидрогеолога : в 2 т. / ред. изд. В. М. Максимов. Л. : Недра, 1979. Т. 1. 512 с.

15 Dietary Reference Intakes: Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. National Academy of Sciences, 2005. 638 p.

16 The Sphere Handbook: Humanitarian Chapter and Minimum Standards in Humanitarian Response. 2018. URL: https://handbook.spherestandards.org/en/sphere/#ch006_001.

A. Novikova, V. Yakovliev,

D. Diadin

*O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv*

ASSESSMENT OF SPRING WATER AVAILABILITY AND ACCESSIBILITY FOR THE POPULATION OF KHARKIV OBLAST

The paper focuses on the assessment of suitability of groundwater springs in Kharkiv oblast for the alternative and reserve drinking water supply, based on the quantitative characteristics of spring water, springs arrangement features, and their location. The most favorable hydrogeological conditions for spring water flow are observed in the areas of extensive development of the porous and stratal Mezhyhiria aquifer formation and fractured deposits of Obukhiv Eocene aquifer formation with a rather severe topography in river valleys and ravines. On ArcGIS Online platform, the authors have developed the open geodatabase containing the information on 513 springs of Kharkiv oblast. It is available at <https://arcg.is/OSKLV0>. It has been found out that 45% of the studied springs are located within settlements or within 1 km, i.e. within walking distance. The highest density of springs and spring water reserves has been found in the northern part of oblast. Quantitative analysis of the available spring water resources has shown that springs are capable to satisfy the needs in drinking water for the total population of the whole Kharkiv oblast only by the daytime flow which is as high as 400 l/s. At the same time, a significant part of natural springs in the oblast has not yet been studied and/or properly equipped with tapping. When studied and equipped with tanks for accumulating water during night-time, springs have the potential to provide sufficient water for the population of Kharkiv oblast not only for drinking purposes but also for domestic and hygienic needs. The conducted study substantiates the possibility of using groundwater springs for the decentralized drinking water supply in emergency cases if the tapping and entrance to it are properly arranged and if relevant measures for the groundwater quality conservation are implemented in the areas of spring water flows.

Key words: spring water, reserve drinking water supply, groundwater, water production, water quality, water availability, emergency.

References

1 Schmoll O. G. Protecting Groundwater for Health Managing the Quality of Drinking-water Sources / O. Schmoll, G. Howard, J. Chil, I. Chorus // World Health Organization. London : IWA Publishing, 2006. 697 p.

2 Prybylova V. M. Pidzemni vodni resursy Kharkivskoi oblasti ta stratehiia yikh vykorystannia dlia vodopostachannia naselennia. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu. Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia. Kharkiv, 2015. № 1157. Vyp. 42. S. 37-44.

3 Yakovliev V. V. Perspektyvni dzherela pryrodnykh vod dlia pytnoho vodopostachannia Ukrainy, yikh okhrona i ratsionalne vykorystannia: dys. ... doktora heol. nauk : 21.06.01. Kharkiv, 2017. 351 s.

4 Klymenko V. H. Terytorialni osoblyvosti vodno-resursnoho potentsialu Kharkivskoi oblasti. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu. Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia. Kharkiv, 2008. № 824. Vyp. 29. S. 127-130.

5 Yakovliev V. V. Dzherelni vody Kharkivskoi oblasti yak dzherelo pytnoho vodopostachannia. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu. Kharkiv, 2014. № 1098. Vyp. 40. S. 63–72.

6 Dmitrenko T. V., Yakovlev V. V. Pervoocherednyie zadachi izucheniya rodnikov kak vozmozhnogo istochnika pitevogo vodonasabzheniya v Harkovskoy oblasti. Kommunal. hoz-vo gorodov. Nauch.-tehn. sb. K.: Tehnika. Vyp. 74. 2006. S. 211-214.

- 7 Davis D., Diadin D., Shores A., Khandogina O., Laituri M. Capacity of urban springs to support emergency water needs, a Secondary City case study: Kharkiv, Ukraine. *Urban Water Journal*. 2020. 17:4. P. 368-376.
- 8 Privarova R., Mihokova Jakubcekova J. Selecting a replacement source of water for emergency supplies in case of emergency. *Procedia Engineering*. 2017. 192. p. 737–742.
- 9 Pérez-Vidal A., Carlos Escobar-River J., Torres-Lozada P. Development and implementation of a water-safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020. Vol. 224. 113422.
- 10 Proniuk A.V. Monitorynh stanu pidzemnykh vod. *Vestnyk KhNADU*. Kharkov, 2012. Vyp.59. S. 129 – 131.
- 11 Kommunalnaya gigiena / K.I.Akulov, K.A.Bushtueva, E.I.Goncharuk i dr.; /Pod red. K.I.Akulova i K.A.Bushtuevoy. Moskva: Meditsina, 1986. 606 s.
- 12 Kononenko A.V. Chynnyky ekoloho-hidroheolohichnoi evoliutsii khimichnoho skladu pidzemnykh vod merhelno-kreidianoho vodonosnoho horyzontu Dniprovsko-Donetskoï zapadyny : dys. kandydata heol. nauk: 21.06.01. K., 2019. 188 s.
- 13 Derzhavna heolohichna karta Ukrainy. Masshtab 1:200 000. Serii: Dniprovsko-Donetska. Arkushi: M-37-KhIII (Bielhorod), M-37-Kh1Kh (Kharkiv) – Kyiv: Ministerstvo okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Ukrainy, Kazenne pidpriemstvo “Pivdenukrheolohiia”, 2007. 171 s.
- 14 Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa : v 2 t. / red. izd. V. M. Maksimov. L. : Nedra, 1979. T. 1. 512 s.
- 15 Dietary Reference Intakes: Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. National Academy of Sciences, 2005. 638 p.
- 16 The Sphere Handbook: Humanitarian Chapter and Minimum Standards in Humanitarian Response. 2018. URL: https://handbook.spherestandards.org/en/sphere/#ch006_001.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 504.122:582.685.4

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-41-47

*Н. І. Глібовицька, Л. В. Плаксії
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПІВ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ ТА ЇХ ДІЯ НА РОСЛИНИ

Охарактеризовано проблему забруднення довкілля буровими розчинами, що використовуються у процесі експлуатації нафто-газових свердловин. Висвітлено біологічні та технічні методи збереження чистоти довкілля у процесі нафтовидобутку та запобігання потрапляння забруднювачів у довкілля. Проаналізовано вплив токсичних сполук бурового розчину на функціонування біотичного і абіотичного блоків екосистеми. Описано склад та типи бурових розчинів, наведено їх класифікацію за рівнем екологічної небезпеки. Найбільшим токсичним впливом на екосистеми володіє полімер-калійовий буровий розчин, а глинистий тип бурового розчину відзначається найменш несприятливою дією на довкілля. Одними із найбільш небезпечних компонентів бурових розчинів є солі натрію, кальцію і хлориди, які спричиняють засолення едафотопів. Засолення ґрунтів порушує водний режим рослин, що призводить до появи некрозів вегетативних органів, посилення транспірації води, погіршення фотосинтетичних процесів, дихання, блокування утворення органічних сполук та передчасної загибелі фіто-організмів. Потрапляння у ґрунти гідроксидів кальцію і натрію, як компонентів бурових розчинів, зумовлює підвищення лужності ґрунтового розчину, що гальмує ріст та розвиток рослин. Встановлено широкі адаптаційні можливості деяких рослин в умовах впливу складових бурових розчинів. В умовах надмірного засолення едафотопів галофіти завдяки особливим метаболічним та структурним особливостям організації є добре пристосованими до стресових умов росту. Нафта, що входить до складу бурових розчинів у невеликих концентраціях, накопичуючись з плином часу у довкіллі, викликає деструктивні зміни у живих системах – блокування ферментативної активності у клітинах, сповільнення ростових процесів, перевагу катаболічних процесів над анаболічними. Для боротьби із забрудненням довкілля нафтопродуктами та буровими розчинами під час експлуатації нафтових родовищ доцільно поєднувати технічні та біологічні методи. Дослідження ремедіаційних властивостей рослинних організмів в умовах нафтового забруднення є актуальним завданням сучасної практичної екології.

Ключові слова: бурові розчини, рослини, нафтове забруднення, довкілля, біоремедіація, екосистема.

Постановка проблеми. Серед глобальних екопроблем сьогодення нафтове забруднення довкілля займає чільне місце. Ароматичні та аліфатичні вуглеводні, важкі метали, сполуки сульфуру і нітрогену, як компоненти нафти, володіють мутагенною, канцерогенною дією, блокують активність ферментних систем у біологічних об'єктах, генерують вільні радикали, пероксидне окислення ліпідів біологічних мембран та прискорюють передчасне старіння організмів [3, 4, 5]. Крім безпосередньої небезпеки самої нафти та нафтопродуктів, загрозу для довкілля становлять бурові розчини, що використовуються при експлуатації нафтових свердловин. Бурові розчини є складними багатоконпонентними дисперсними системами суспензійних, емульсійних і аерованих рідин, які застосовуються для промивання свердловин у процесі їх експлуатації. Токсичність бурового розчину та ступінь потенційної загрози експлуатаційних робіт залежить від кількості і класу небезпеки хімічних реагентів, що входять у склад бурового розчину [14].

Аналіз досліджень і публікацій. За здатністю накопичувати забруднювачі антропогенного походження рослини поділяються на три групи – елімінатори, біоіндикатори, акумулятори. Елімінатори відзначаються вибірковою проникністю щодо токсикантів та акумулюють їх у низьких концентраціях. Біоіндикатори віддзеркалюють рівень забруднення довкілля низкою морфологічних, фізіолого-біохімічних реакцій та накопичують політанти пропорційно їх вмісту

у навколишньому середовищі. Акумулятори поглинають техногенні поліютантанти у великих кількостях та найбільш ефективно виконують середовищеві роль [10, 12].

Одним із пріоритетних напрямків екологічної науки є ремедіація нафто-забруднених екосистем за допомогою екологічно безпечних біологічних методів [2, 7, 13, 17, 26, 28]. Рослини, що характеризуються цінними метаболічними показниками перетворювати токсичні ароматичні вуглеводні до нешкідливих для довкілля речовин – води та вуглекислого газу – широко використовуються у створенні зелених зон територій нафто-видобутку. Рослини-акумулятори накопичують важкі метали, які присутні у нафті у великих кількостях, та переводять їх у безпечні для організму нерухомі форми, таким чином, блокуючи здатність металів взаємодіяти з компонентами клітин рослин. Серед способів захисту рослинного організму від дії важких металів є синтез фітохелатинів, металотіонеїнів, переміщення металів у вакуолі та лізосоми, зв'язування металів з клітинною стінкою рослин [1, 6, 10, 19]. Підвищення рівня акумуляції металів рослинами має місце при їх переході з нерозчинної у розчинну форму у ґрунті, що стимулюється підкисленням ґрунту. Причиною зростання кислотності ґрунтового розчину є потрапляння у ґрунт оксидів сульфуру та нітрогену, присутніх у нафті [11, 12, 13]. Незважаючи на наявність наукових публікацій щодо реакцій рослин на вплив нафти [2, 7, 16, 17, 24, 28], питання впливу компонентів бурового розчину на рослини досі не досліджене.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Чимала кількість публікацій присвячена дослідженню впливу нафтового забруднення довкілля на живі організми, зокрема, рослинні об'єкти [21, 24, 25, 29]. Вивчені аспекти впливу нафтових вуглеводнів та важких металів, як складових нафти, на трав'янисті та деревні рослини на різних рівнях організації біосистем [20, 23, 27]. Виявлено вплив нафтових компонентів на фізико-хімічні властивості ґрунтів, водойм та якість повітря [24, 29]. Однак, робіт, метою яких є вивчення дії бурових розчинів, що використовуються у ході експлуатації свердловин, на екологічний стан довкілля і, зокрема, рослинних організмів, не виявлено. Тому актуальним завданням є аналіз хімічного складу різних типів бурових розчинів та їх можливий вплив на рослини, як первинні реципієнти і поглиначі забруднювачів техногенного походження.

Постановка завдання. Метою нашої роботи є дослідження типів бурових розчинів, що використовуються при розробці нафто-газових родовищ, та аналіз хімічного впливу компонентів бурових розчинів на рослини.

Виклад основного матеріалу. Виділяють наступні типи бурових розчинів – глинистий, полімер-глинистий, полімер-акриловий, полімер-калієвий табл. 1.

Таблиця 1

Типи бурових розчинів та їх компонентний склад

Тип бурового розчину	Компонентний склад бурового розчину
Глинистий	глинопорошок, карбонат натрію, графіт
Полімер-глинистий	глинопорошок, карбоксиметилцелюлоза, карбонат натрію
Полімер-акриловий	глинопорошок, хлорид калію, карбонат натрію, гідроксид натрію, поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, біополімер-структурутворювач, гідролізований поліакриламід, графіт
Полімер-калієвий	глинопорошок, хлорид калію, карбонат натрію, гідроксид натрію, нафта, поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, полісахарид-стабілізатор, вапно, графіт, крейда, карбонат кальцію

Найменша кількість компонентів входить у склад глинистого бурового розчину, найбільша – у склад полімер-калієвого бурового розчину. Токсичність складових бурових розчинів є неоднаковою та визначається хімічною природою цих складових. Характеристика компонентів бурового розчину наведена у табл. 2.

Серед наведених сполук до другого класу належать каустична сода і гідроксид кальцію, які характеризуються як високо-небезпечні речовини. Кальцинована сода, хлорид калію, карбоксиметилцелюлоза, гідролізований поліакриламід, карбонат кальцію відносяться до третього класу небезпеки та є помірно небезпечними речовинами. До четвертого класу належить глинопорошок, полісахарид-стабілізатор, структурутворювач, графіт, нафта, поліаніонна целюлоза високов'язкої і низьков'язкої форми.

Полімери, які входять до складу бурового розчину – поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, гідролізований поліакриламід, карбоксиметилцелюлоза, полісахарид-

стабілізатор, структуроутворювач не виявляють вираженого токсичного впливу на доквілля, а графіт та глинопорошок при потраплянні у доквілля у великій кількості спричиняють порушення фізико-хімічної структури ґрунту [14]. Хімічні реагенти, які входять до складу бурових розчинів наведені у таблиці (табл. 3.).

Таблиця 2

Характеристика компонентів бурового розчину

№	Назва компоненту	Вміст в буровому розчині, %	ГДК ґрунту, мг/кг	Клас токсичності
1	Глинопорошок	6.0	-	4
2	Карбонат натрію	0.3	200	3
3	Гідроксид натрію	0.2	2000	2
4	Хлорид калію	6.0	-	3
5	Поліаніонна целюлоза високов'язкої форми	0.3	3000	4
6	Поліаніонна целюлоза низьков'язкої форми	0.6	400	4
7	Полісахарид-стабілізатор	1.2	-	4
8	Карбоксиметилцелюлоза	0.9	3000	3
9	Гідролізований поліакрил	0.4	4000	3
10	Структуроутворювач	0.5	8000	4
11	Графіт	2.0	0	4
12	Гідроксид кальцію	2.0	8000	2
13	Нафта	10.0	4000	4
14	Карбонат кальцію	8.0	4500	3

У невеликих концентраціях нафта, що входить до складу бурових розчинів, зумовлює прискорення росту і розвитку рослин. Проте високий її вміст у доквіллі спричиняє незворотні деструктивні зміни у клітинах більшості рослинних організмів [16]. Гідроксиди кальцію та натрію, які є складовими бурових розчинів, потрапляючи у ґрунт, призводять до підлугування ґрунту, що, у свою чергу, знижує доступність фосфору, заліза, марганцю, міді, цинку, бору для рослин. Таким чином порушується мінеральне живлення рослин [18]. Карбонат натрію і кальцію, хлорид кальцію, як компоненти бурових розчинів, спричиняють засолення ґрунту, що зменшує доступність води до рослин і призводить до їх некротизації, всихання та передчасної загибелі [8, 22]. Найбільш токсичний вплив на рослини мають іони натрію та хлору, які підвищують осмотичний потенціал ґрунтового розчину, призводять до порушення обміну нітрогену та сірки. В умовах засолення ґрунту порушується структура і функціональна здатність хлоропластів клітин, пригнічується асиміляційна функція рослин, проникність біологічних мембран, сповільнюється ріст і розвиток рослин, зростає рівень вільно-радикальних реакцій та оксидативного стресу. Особливо чутливою до впливу солей є генеративна сфера рослини, що проявляється у пригніченні проростання насіння та утворенні генеративних клітин через низку деструктивних процесів: порушення гормональної рівноваги рослинного організму, синтезу білкових молекул, нуклеїнових кислот [9, 18].

У великих концентраціях бурові розчини становлять екологічну небезпеку при потраплянні у водойми та ґрунт. Причинами потрапляння компонентів бурових розчинів у доквілля є технологічні та аварійні. До технологічних причин відносяться недотримання правил техніки безпеки при роботі з буровими розчинами, забруднення підземних вод внаслідок негерметичності колон і неякісного цементування, прориви трубопроводів, порушення вимог при транспортуванні та зберіганні хімічних реагентів для приготування бурових розчинів. Аварійні причини виникають як результат порушення технологій випробування свердловини, що зазначені вище [14].

При проведенні земляних робіт, роботі транспорту під час експлуатації нафтових свердловин спостерігається механічне пошкодження ґрунту, що в комплексі з хімічним забрудненням компонентами бурового розчину сприяє деградації едафотопів. При спорудженні бурових установок, монтажеві, демонтажеві бурового устаткування необхідно застосовувати заходи, що виключають забруднення екосистем відходами металу, залізобетону, дерева. Технологія спорудження свердловини та природоохоронні заходи, орієнтовані на попередження можливих причин і шляхів забруднення навколишнього середовища при експлуатації свердловин,

повинні бути спрямовані на ліквідацію джерел забруднювальних речовин і наслідків їх негативної дії, а у випадку потрапляння у довкілля компонентів бурового розчину – не перевищувати гранично-допустимих концентрацій цих компонентів. Доставку бурових розчинів на свердловину потрібно здійснювати у герметичних ємностях і зберігати в облаштованому складі, подачу палива до двигунів необхідно проводити через герметичний трубопровід, збір і вивіз відпрацьованих бурових розчинів потрібно здійснювати у спеціальних металевих ємностях. Продукти освоєння свердловини підлягають обробці та захороненню в шламових амбарах з протифільтраційним екраном [14].

Таблиця 3

Характеристика компонентів бурових розчинів

№	Назва компоненту	Характеристика компонентів
1	Глино порошок	Висушена і подрібнена глина з хімічними реагентами чи без них
2	Карбонат натрію	Порошок білого кольору, що використовується для покращення якості глино порошоків і глин
3	Гідроксид натрію	Біла кристалічна маса добре розчинна у воді, що супроводжується виділенням великої кількості тепла
4	Хлорид калію	Кристалічна речовина білого чи цегляно-червоного кольору розчинна у воді
5	Поліаніонна целюлоза високов'язкої форми	Білий розсіпчастий порошок без запаху добре розчинний у воді, що застосовується як стабілізатор бурового розчину
6	Поліаніонна целюлоза низьков'язкої форми	Білий розсіпчастий порошок без запаху добре розчинний у воді, що застосовується як стабілізатор бурового розчину
7	Полісахарид-стабілізатор	Розсіпчастий дрібнодисперсний порошок білого кольору без запаху, що є органічним полімером
8	Карбоксиметил-целюлоза	Білий чи жовтуватий неоднорідний порошок, який використовують в якості стабілізатора бурового розчину
9	Гідролізований поліакриламід	Порошок білого кольору без запаху, що використовується в якості структуроутворювача бурового розчину
10	Структуро-утворювач	Біополімер, розсіпчастий дрібнодисперсний порошок білого кольору без запаху, застосовується у якості структуроутворювача бурового розчину
11	Графіт	Кристалічний сріблястий порошок нерозчинний у воді, який одержують шляхом флотаційного збагачення руд природного графіту
12	Гідроксид кальцію	Порошкоподібний чи пастоподібний реагент білого кольору, за хімічною природою сильний луг, дозволяє легко регулювати структурно-механічні властивості бурового розчину
13	Нафта	Складна суміш вуглеводнів різних класів з невеликою кількістю органічних, сірчистих і азотних сполук, що, являє собою густу оліїсту рідину
14	Карбонат кальцію	Утворений із спеціально обробленого кристалічного білого мармуру, нерозчинний у воді, використовується в якості обважнювача бурового розчину, розчинного у кислоті

Більшість рослин належать до глікофітів – фітооб'єктів, які непристосовані до високої концентрації солей у ґрунтах. Ефективним біологічним методом боротьби з підвищеним вмістом солей у едафотопах територій нафтовидобутку є висадка рослин-галофітів, стійких до засолення ґрунту. Галофіти можна розділити на три групи: евгалофіти, криптогалофіти, глікогалофіти. Евгалофіти акумулюють у клітинах велику кількість солей без шкоди для свого організму завдяки високій – до 7% – концентрації солей у клітинному соці, і тому можуть поглинати воду з висококонцентрованого ґрунтового розчину. Криптогалофіти поглинають солі коренями, але не накопичують у клітинному соці, а виділяють через спеціальні клітини на листках і стеблах. Рослини зазначеної групи характеризуються значною інтенсивністю фотосинтетичних процесів, що забезпечує високу концентрацію клітинного соку та дозволяє їм поглинати воду із засолених ґрунтів. Глікогалофіти відрізняються тим, що цитоплазма клітин їхніх коренів малопроникна для

солей, тому солі не надходять у рослину. Висока осмотична концентрація в клітинах рослин цієї групи створюється за рахунок інтенсивного фотосинтезу і накопичення розчинних вуглеводів. Усі групи галофітів володіють вираженими пристосувальними характеристиками фізіологічних і біохімічних процесів. Зокрема, у них має місце накопичення так званих протекторних речовин, які забезпечують вищу стійкість організму до дії підвищеної концентрації солей. При засоленні починають експресію гени, що кодують ферменти синтезу проліну і бетаїну, лігніну, а також кодуючі захисні білки, аквапорини, АТФази і протеази [15]. Використання рослин, які володіють стійкістю до засолення ґрунтів, може бути основою фітореMediaційних технологій для відновлення техногенно-деградованих екосистем.

Висновки. Найбільш небезпечними компонентами бурового розчину для біоти є гідроксиди натрію та кальцію, що зумовлюють зміщення кислотної рівноваги ґрунтового розчину. Хлорид калію, карбонати натрію і кальцію теж відзначаються токсичним впливом на екосистеми, оскільки спричиняють засолення ґрунтів, знижують доступність води та біогенних елементів до рослин, порушують цілісність та функціонування рослинного організму. Інші компоненти нафти не проявляють істотного токсичного впливу на біоту, бо є полімерами природного походження або корисними копалинами. З метою запобігання забрудненню буровими розчинами навколишнього середовища передбачається впровадження низки технологічних заходів та дотримання правил техніки безпеки, а також використання у озелененні територій нафтовидобутку стійких до забруднення видів рослин.

N. Glibovytska, L. Plaksii

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

CHARACTERISTICS OF DRILLING FLUIDS TYPES AND THEIR EFFECT ON PLANTS

The environmental pollution by drilling fluids, used in oil and gas wells operation, is described. The biological and technical methods of maintaining the environmental safety during oil production and preventing the emission of pollutants into the environment are highlighted. The influence of toxic drilling fluids solutions on the functioning of biotic and abiotic blocks of the ecosystems is analyzed. The composition and types of drilling fluids are described, their classification according to the level of environmental hazard is provided. The polymer-potassium drilling fluid has the greatest toxic effect on ecosystems, and the clay type of drilling fluid has the least adverse effect on the environment. Sodium, calcium and chloride salts, which cause the salinization of edaphotopes, are among the most dangerous components of drilling fluids. Soil salinization disrupts the water regime of plants, which leads to the vegetative organs necrosis, increase in water transpiration, deterioration of photosynthetic processes, decrease in the formation of organic compounds and respiration, premature death of phyto-organisms. Getting into the soil, calcium and sodium hydroxides, as the components of drilling fluids, cause the increase in the soil solution alkalinity, which inhibits the growth and development of plants. The extensive adaptive capabilities of some plants under the influence of drilling fluids components are established. Under the conditions of excessive salinization of edaphotopes, halophytes are well adapted to the stressful growth conditions due to their special metabolic and structural features. Oil, which is included in drilling fluids in small concentrations, accumulates over time in the environment and causes destructive changes in living systems by blocking the enzymatic activity in cells, slowing down the growth processes, causing the predominance of catabolic processes over the anabolic ones. To combat environmental pollution by petroleum products and drilling fluids during the development of oil fields, it is advisable to combine technical and biological methods. Studying the remediation properties of plant organisms in the conditions of oil pollution is an urgent task for the modern practical ecology.

Key words: drilling fluids, plants, oil pollution, environment, biological remediation, ecosystem.

References

- 1 Alves-Silva E., Santos J.C., Cornelissen T.G. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry // *Ecological Indicators*, 2018. – № 89. – P. 912-924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.060>.
- 2 Ashraf S., Ali Q., Zahir Z. A., Asghar H. N. Phytoremediation: environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils // *Ecotox. Environ. Safe*, 2019. – № 174. – P. 714–727. [10.1016/j.ecoenv.2019.02.068](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068).
- 3 Aydin Turkyilmaz, Hakan Sevik, Mehmet Cetin, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Changes in Heavy

- Metal Accumulation Depending on Traffic Density in Some Landscape Plants // *Pol. J. Environ. Stud.*, 2018. – № 27 (5). – P. 2277-2284.
- 4 Aydin Turkyilmaz, Mehmet Cetin, Hakan Sevik, Kaan Isinkaralar, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density // *Environment, Development and Sustainability*, 2020. – № 22. – P. 2385–2398.
- 5 Behnam Asgari Lajayer, Mansour Ghorbanpour, Shahab Nikabadi. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. – № 145. – P. 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.035>.
- 6 Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany // *Journal of Geochemical Exploration*, 2018. – № 187. – P. 97-117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.
- 7 Cristaldi A., Conti G., Eun Heajho E., Zuccarello P., Grasso A., Copat C., Ferrante M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review // *Environmental Technology & Innovation*, 2017. – № 8. – P. 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.
- 8 Derkach I.V., Romaniuk N.D. Influence of soil salinization on plant organisms // *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University. Series Biology*, 2016. – № 3-4 (67). – 91-106.
- 9 Daliakopoulos I.N., Tsanis I.K., Kourgialas N.N., Varouchakis A.E., Karatzas G.P., Ritsema C.J. The threat of soil salinity: A European scale review // *Science of The Total Environment*, 2016. – № 573. – P. 727-739.
- 10 Ghazala M., Setsuko K. Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants // *Plant Gene*, 2017. – № 11B. – P. 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.
- 11 Ghori N.-H., Ghori T., Hayat M. Q., Imadi S. R., Gul A., Altay V. Ozturk M. Heavy metal stress and responses in plants // *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019. – № 16. – P. 1807–1828.
- 12 Glibovytska N.I., Karavanovych K.B. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution // *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. – № 8 (3). – P. 322-327.
- 13 Glibovytska N.I., Karavanovych K.B., Kachala T.B. Prospects of Phytoremediation and Phytoremediation of Oil-Contaminated Soils with the Help of Energy Plants // *Journal of Ecological Engineering*, 2019. – № 20 (7). – P. 147-154. DOI 10.12911/22998993/109875
- 14 GOST 41-00 032 626-00-007-97 "Construction of exploration and production wells for oil and gas on land". Rules of the works. – 80 pp.
- 15 Nouri H., Borujeni S., Nirola R., Hassanli A., Beecham S., Alaghmand S., Saint C., Mulcahy D. Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation // *Process Safety and Environmental Protection*, 2017. – № 107. – P. 94-107.
- 16 Kaur N., Erickson T., Ball A., Ryan M. A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination – knowledge gaps and recommendations // *Science of The Total Environment*, 2017. – № 603. – P. 728-744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>
- 17 Ikeura H., Kawasaki Yu., Kaimi E., Nishiwaki J., Noborio K., Tamaki M. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil // *International Journal of Phytoremediation*, 2016. – № 18. – P. 460-466. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1115957>
- 18 Machado M.A., Serralheiro RP. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization // *Horticulturae*, 2017. – № 3. – 30 pp.
- 19 Mahmood Maleki, Mansour Ghorbanpour, Khalil Kariman. Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress // *Journal of Hazardous Materials*, 2017. – № 325. – P. 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.006>
- 20 Markéta Mayerová, Šárka Petrová, Mikuláš Madaras, Jan Lipavský, Tomáš Šimon, Tomáš Vaněk. Non-enhanced phytoextraction of cadmium, zinc, and lead by high-yielding crops // *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. – № 24. – P. 14706–14716.
- 21 Musilova L., Ridl J., Polivkova M., Macek T., Uhlík O. Effects of Secondary Plant Metabolites on Microbial Populations: Changes in Community Structure and Metabolic Activity in Contaminated Environments // *Int. J. Mol. Sci.*, 2016. – № 17(8). – 1205 pp. <https://doi.org/10.3390/ijms17081205>
- 22 Negrão S., Schmöckel M., Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress // *Annals of Botany*, 2017. – № 119(1). – P. 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
- 23 Li J., Zhang D., Zhou P., Liu Q. Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Its

Bioaccumulation by Dominant Plants in a Lead-Zinc Mining Area, Nanjing // Huan Jing Ke Xue, 2018. – № 39(8). – P. 3845-3853. doi: 10.13227/j.hjcx.201712086

24 Lim M.W., Lau E.V., Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions // Marine Pollution Bulletin., 2016. – № 109(1). – P. 619-620. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>

25 Pedroso A., Bussotti F., Papini A., Tani C., Domingos M. Pollution emissions from a petrochemical complex and other environmental stressors induce structural and ultrastructural damage in leaves of a biosensor tree species from the Atlantic Rain Forest // Ecological Indicators, 2016. – № 67. – P. 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.054>

26 Ruf T., Audu V., Holzhauser K., Emmerling C. Bioenergy from Periodically Waterlogged Cropland in Europe: A First Assessment of the Potential of Five Perennial Energy Crops to Provide Biomass and Their Interactions with Soil // Agronomy, 2019. – № 9. – 374 pp.

27 Saeed Ahmad Asad, Muhammad Farooq, Aftab Afzal, Helen West. Integrated phytobial heavy metal remediation strategies for a sustainable clean environment - A review // Chemosphere, 2019. – № 217. – P. 925-941. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.021>

28 Shevchyk L.Z., Romanyuk O.I. Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils // Scientific Journal ScienceRise: Biological Science, 2017. – № 1(4). – P. 31-39.

29 Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. Investigation of biotechnogenic system formed by long-term impact of oil extraction objects // Systems, decision and control in energy I, Studies in systems, decision and control, 2020. – № 298. – P. 165-177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_11

*Г. М. Кривенко**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ОБ'ЄКТАМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

На підприємства нафтогазового комплексу припадає значна кількість викидів парникових газів. Головним завданням екологічної політики підприємств нафтогазової галузі є забезпечення ефективного функціонування, що включає в себе і зменшення екологічних ризиків у процесі виробничої діяльності. Вирішення проблем, що пов'язані з охороною навколишнього середовища та покращення якості його соціальної складової, завжди є актуальним. Актуальність полягає у зменшенні техногенного навантаження на довкілля підприємствами нафтогазового комплексу. Метою роботи є аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами. У процесі досліджень вирішувалися такі задачі: моделювання процесу розсіювання парникового газу в атмосферне повітря при викиді зі стаціонарного джерела; аналіз зміни концентрації парникового газу в повітрі та можливість впливу на здоров'я обслуговуючого персоналу. Об'єктом дослідження є підприємство нафтогазового комплексу, предметом дослідження – оцінки викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами.

Обґрунтовано вибір діоксиду вуглецю для проведення досліджень. Розраховано концентрації викидів діоксиду вуглецю стаціонарними джерелами з використанням емпірично-статистичної моделі Гауса. Удосконалено залежність для визначення віртуальної висоти стаціонарних джерел. Змодельовано процес розсіювання діоксиду вуглецю при викиді з стаціонарних джерел, що дасть змогу визначити зміну концентрації газу в атмосферному повітрі на території об'єкта та можливість впливу на персонал. Підтверджено, що зміна концентрації викиду діоксиду вуглецю, залежить від висоти джерела. Із зменшенням висоти стаціонарного джерела концентрація газу в атмосферному повітрі збільшується; на відстані 500 м від джерел концентрація газу в повітрі відповідає нормальному фоновому значенню. За нормальних фонових значень діоксиду вуглецю викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу.

Ключові слова: діоксид вуглецю, концентрація, моделювання, екологічна політика, стаціонарні джерела.

Постановка проблеми. Аналіз досліджень і публікацій. Значна кількість викидів парникових газів припадає на підприємства нафтогазового комплексу. З метою скорочення обсягів їх викидів, згідно з комплексним Планом природоохоронних заходів Нафтогазу на 2015-2020 роки, на підприємствах Групи Нафтогаз здійснюються такі заходи [1]:

- інвентаризація стаціонарних джерел викидів;
- оптимізація технологічних режимів обладнання, що працює на вуглеводневому паливі, та його модернізація;
- виявлення мобільними лабораторіями витоків із запірної арматури та їх усунення за допомогою сучасного обладнання та високоефективних ущільнюючих матеріалів;
- ремонтно-налагоджувальні роботи технологічного обладнання;
- заміна резервуарів із стаціонарною покрівлею на більш сучасні у технологічному плані резервуари із плаваючою покрівлею;
- використання режимів перекачування та експлуатації резервуарів, які забезпечують найменші обсяги викидів забруднюючих речовин.

Незважаючи на проведення оптимізації структури енергетичного сектора національної економіки шляхом збільшення обсягу використання енергетичних джерел із низьким рівнем викидів двоокису вуглецю на 10 % до 2015 року і на 20 % до 2020 року, а також забезпечення скорочення обсягу викидів парникових газів відповідно до задекларованих Україною міжнародних зобов'язань у рамках Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, проблема не втратила актуальності [2].

Кількість викидів парникових газів у атмосферне повітря на підприємствах Групи Нафтогаз збільшується. Викиди парникових газів склали 5646 тис. т CO_{2 екв} у 2016 році, а в 2019 році - 7402,6 тис. т CO_{2 екв}. З них викиди у атмосферне повітря діоксиду вуглецю у 2019 році становили 5957,3 тис. т (для порівняння за 2016 рік – 4744,5 тис. т). Загальний обсяг викидів парникових газів

у 2019 році на підприємствах нафтогазового комплексу збільшився на 23,7% порівняно з 2016 роком (збільшення відносно 2018 року становить 1%). Найбільша частка викидів парникових газів була згенерована Укртрансгазом (60,7%) і Укргазвидобуванням (30,1%) [1, 3].

Впровадження заходів щодо скорочення викидів в атмосферу та реалізація програм з енергоефективності мінімізує вплив підприємств нафтогазового комплексу на довкілля. Екологічна безпека об'єктів нафтогазового комплексу – це безпечно для довкілля функціонування будь-якого об'єкта, з одного боку, і відсутність шкідливого впливу оточуючого середовища на об'єкт, з іншого. Слід відмітити, що рівень небезпеки нафтогазового об'єкта для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого відхилення від норми до критичного і навіть катастрофічного [2].

Отже, головним завданням екологічної політики підприємств нафтогазової галузі є забезпечення ефективного функціонування, що включає в себе і зменшення екологічних ризиків у процесі виробничої діяльності.

Тому вирішення проблем, що пов'язані з охороною навколишнього середовища, є завжди актуальним.

Проблеми дослідження викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря висвітлено у наукових працях [4-6]. Оцінювання фактичних викидів із стаціонарних джерел за даними спостережень у зоні розсіювання наведено у [7]. Наукові праці [8, 9] присвячені дослідженню екологічних особливостей території навколо джерел забруднення і аналізу впливу викидів на довкілля та здоров'я людини. Моделювання емісії парникових газів відображено у [10]. У наукових розробках [11-13] наводяться відомості про моделі для опису розсіювання забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферному повітрі та даються рекомендації щодо їх практичного використання під час моделювання різних процесів у атмосфері. З аналізу літературних джерел, присвячених проблемам викидів забруднюючих речовин випливає, що необхідно провести комплексний аналіз викидів парникових газів, оскільки питання їх викидів стаціонарними джерелами потребує більш детального дослідження.

Мета досліджень. Метою роботи є аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами. У процесі досліджень вирішувалися такі задачі:

- моделювання процесу розсіювання парникового газу в атмосферне повітря при викиді зі стаціонарного джерела;
- аналіз зміни концентрації парникового газу в повітрі та можливість впливу на здоров'я обслуговуючого персоналу.

Об'єктом дослідження є підприємство нафтогазового комплексу, предметом дослідження – оцінка викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами.

Матеріали та методи досліджень. Оцінка викидів парникових газів у атмосферне повітря проведена на прикладі одного з підприємств нафтогазового комплексу. Для вирішення задач, поставлених у процесі дослідження, немає потреби прив'язуватися до конкретного підприємства.

У результаті діяльності підприємств було спричинено викиди таких парникових газів у атмосферне повітря: діоксиду вуглецю, метану та оксиду азоту [3]. Для обґрунтування вибору парникового газу, що стане предметом дослідження, побудовано діаграму викидів парникових газів у атмосферне повітря підприємствами нафтогазового комплексу у 2019 році (рис. 1) [1]. Потенціал глобального потепління (ПГП), що визначає ступінь впливу різних парникових газів на глобальне потепління, більшості парникових газів перевищує ПГП CO₂, ПГП якого, як еталонного газу, рівний 1. Оскільки основну частину викидів з урахуванням ПГП (80%) складає діоксид вуглецю (рис. 1), то доцільним буде проаналізувати саме його вплив на довкілля.

Для проведення аналізу викидів діоксиду вуглецю у атмосферне повітря стаціонарними джерелами вибрано модель розсіювання забруднюючих речовин Гауса (1), яка є однією із найбільш поширених у світі [11].

Моделювання процесу розсіювання діоксиду вуглецю виконано у середовищі MATLAB.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки викидів діоксиду вуглецю у атмосферне повітря проведено розрахунки за максимального його річного викиду на одному з нафтогазових підприємств та довільного значення параметрів джерел забруднення. Це дасть змогу оцінити характер викидів у атмосферне повітря за максимальної інтенсивності викидів та вчасно застосовувати заходи щодо зменшення їх впливу на довкілля.

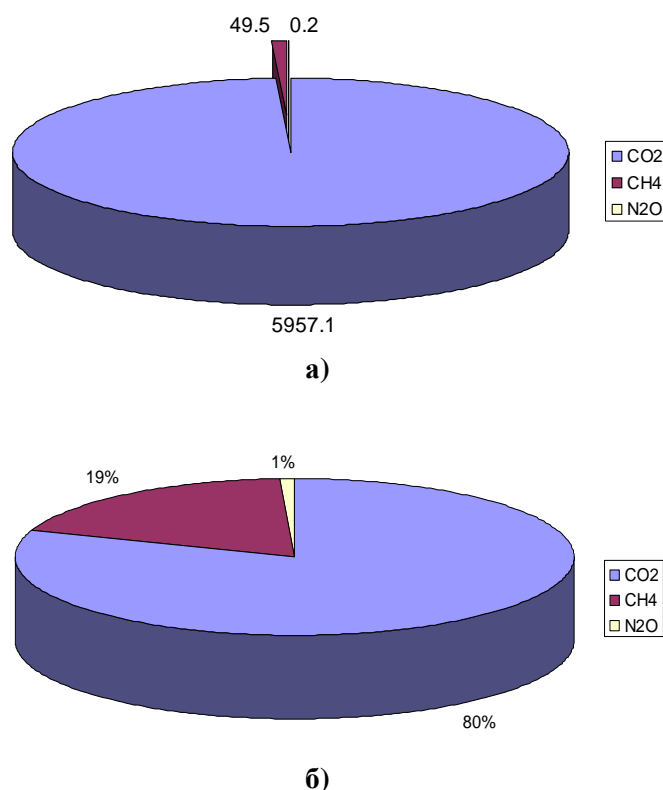


Рис. 1. Розподіл викидів парникових газів (а – за абсолютним значенням, тис. т; б – з урахуванням ПГП, тис. т CO₂-екв)

Характер розсіювання діоксиду вуглецю визначено за такою формулою [14]:

$$C_{(x,y,z,H)} = \frac{M}{2\pi u \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2(\sigma_y(x))^2}\right) \right] \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2(\sigma_z(x))^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2(\sigma_z(x))^2}\right) \right], \quad (1)$$

де C – концентрація у деякій точці з координатами x, y, z , г/м³; M – масова витрата викиду, г/с; H – ефективна висота джерела, м (висота віртуального джерела); u – середня швидкість вітру на висоті віртуального джерела викидів, м/с; σ_y – стандартне відхилення розсіювання по горизонталі, м; σ_z – стандартне відхилення розсіювання по вертикалі, м; y – бокове відхилення від осі факелу, м.

Ефективна висота джерела (висота віртуального джерела):

$$H = h + \Delta h, \quad (2)$$

де h – геометрична висота джерела викидів, м; Δh – початковий підйом струменя.

З метою удосконалення залежності для визначення ефективної висоти стаціонарного джерела [15], нами запропоновано враховувати замість приземної швидкості вітру швидкість вітру на висоті віртуального джерела.

Початковий підйом струменя:

$$\Delta h = \frac{3,7v \cdot r}{u} + \frac{1,6g \cdot Q \cdot (T - T_a)}{T_a \cdot u^3}, \quad (3)$$

де v – швидкість виходу газу з джерела викидів, м/с; r – радіус гирла джерела викидів, м; u – середня швидкість вітру на висоті віртуального джерела викидів, м/с; g – прискорення вільного падіння, м²/с; Q – об'ємна витрата, м³/с; T – температура газу, °С; T_a – температура навколишнього середовища, °С.

Швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів [7]:

$$u = u_1 \left(\frac{h}{z_1} \right)^p, \quad (4)$$

де h – геометрична висота джерела викидів, м; u_1 – приземна швидкість вітру, м/с; z_1 – висота заміру приземної швидкості вітру, м; p – поправочний коефіцієнт, залежить від стабільності атмосфери [11]

Одним з найбільш істотних чинників, що впливають практично на всі процеси, які обумовлюють поширення речовин зі стаціонарних джерел у атмосферному повітрі, є стійкість атмосфери. Під стійкістю атмосфери розуміється її здатність перешкоджати вертикальним рухам газів. Під час оцінювання розсіювання газів зазвичай вибирають такий клас стійкості, який дає найгірші характеристики з точки зору забруднення атмосфери. Таким є клас стабільності атмосфери «А» [15].

Розглянемо характер розподілу діоксиду вуглецю при класі стабільності атмосфери «А». Для практичного використання наведених рівнянь необхідно знати величини σ_y , σ_z . Значення σ_y , σ_z визначають за діаграмами, отриманими експериментально [11].

Для проведення розрахунків використовувалися такі дані: висота джерел викиду 5 м, 10 м, 15 м; діаметр 0,5 м; масова витрата викиду 6 г/с; швидкість виходу газів 10 м/с, температура газів 450°C; клас стабільності атмосфери «А»; приземна швидкість вітру 1,5 м/с.

Розраховано концентрацію при $z=H$, $z=2$ м та $z=50$ м для ефективних висот джерел $H=9,3$ м, 14 м та 18,9 м.

Змодельовані процеси розсіювання оксиду вуглецю в атмосферне повітря під час викиду з стаціонарного джерела забруднення наведено на рис. (2-4).

На рис. 2 наведено характер зміни концентрації уздовж осьової лінії струменя для джерел, висоти яких 5 м, 10 м та 15 м ($z = H$), масова витрата викиду 6 г/с.

Характер зміни концентрації з відстанню x істотно залежить від рівня, до якого вона відноситься. На рівні викиду домішки $z = H$ концентрація зменшується зі збільшенням x . З ростом x це спадання сповільнюється.

Проаналізуємо, як змінюється концентрація викиду. Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація складає 0,0024238 г/м³ при $x=0$ (рис. 2а). Для джерела висотою 10 м – $c=0,0018568$ г/м³ (рис. 2б), для джерела висотою 15 м – $c=0,001569$ г/м³ (рис. 2в). Отже, концентрація зростає із зменшенням висоти джерела забруднення.

Зміна концентрації діоксиду вуглецю залежно від висоти джерела на рівні $z = 2$ м наведена на рис. 3.

Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація $c=0,0026902$ г/м³ буде на відстані $x=0$ м, а на відстані $x=500$ м концентрація складає $c=6,0258 \cdot 10^{-5}$ г/м³ (рис. 3а). Для джерела висотою 10 м, максимальна концентрація $c=0,0020863$ г/м³ – на відстані $x=0$ м, а на відстані $x=500$ м $c=5,7291 \cdot 10^{-5}$ г/м³ (рис. 3б). Для джерела забруднення висотою 15 м максимальна концентрація $c=0,0015073$ г/м³, а на відстані $x=500$ м – $c=5,5529 \cdot 10^{-5}$ г/м³ (рис. 3в).

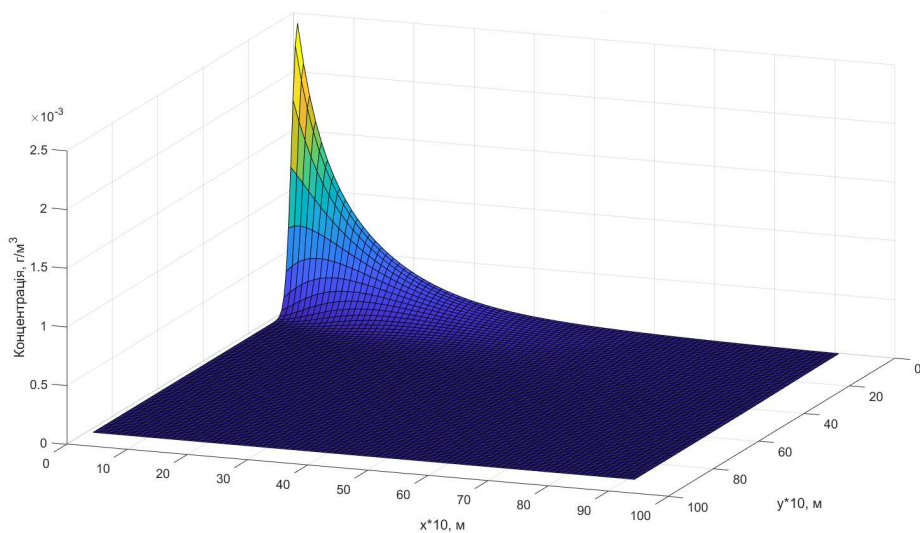
Визначимо, як зміниться концентрації викиду з стаціонарного джерела при збільшенні координати z . Приймаємо $z=50$ м.

Проаналізуємо, як буде розподілятися концентрація при $z=50$ м для трьох досліджуваних джерел (рис. 4).

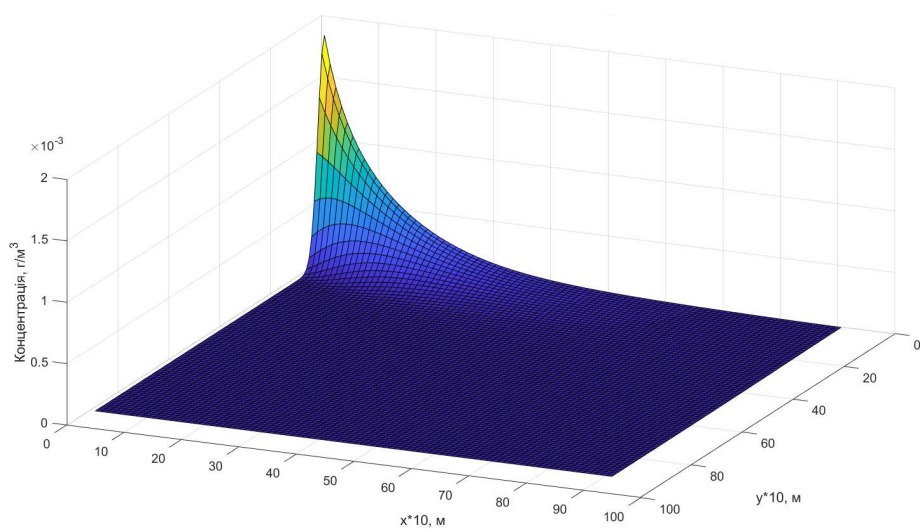
При розгляді рисунків звертає на себе увагу асиметричність форми кривих по відношенню до точки x , що відповідає максимуму концентрації діоксиду вуглецю.

Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація $c=0,00028105$ г/м³: на відстані 110 м (рис. 4а) Для джерела висотою 10 м – $c=0,00028685$ г/м³ на відстані 90 м (рис. 4б). Для джерела висотою 15 м – $c=0,00033083$ г/м³ (рис. 4в).

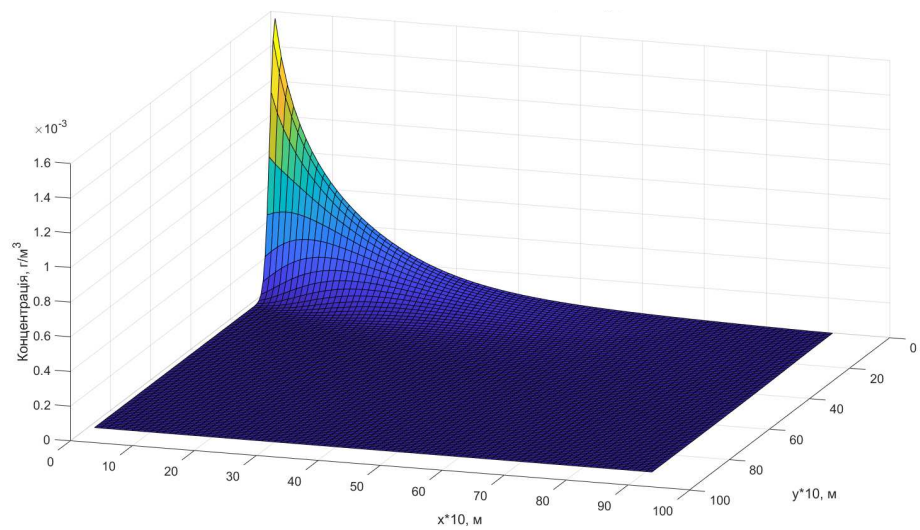
Щодо впливу на організм людини, то 350 ppm – це оптимальне значення вмісту вуглекислого газу у повітрі; збільшення його вмісту до 600 ppm та більше призводить до зниження працездатності та розвитку хронічної втоми [5].



а)

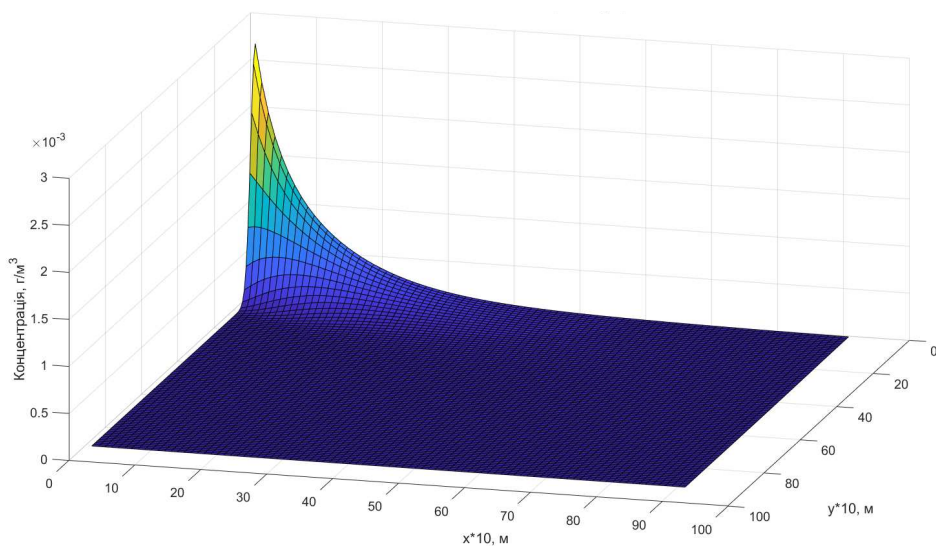


б)

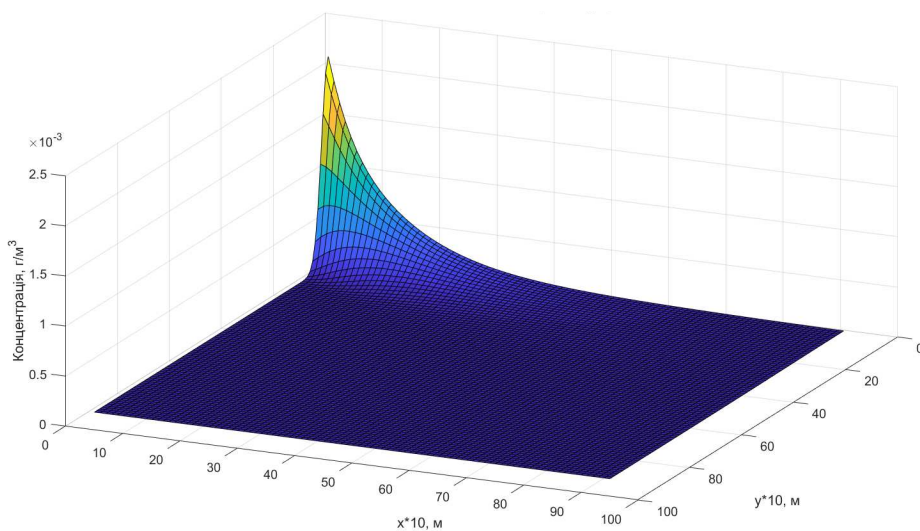


в)

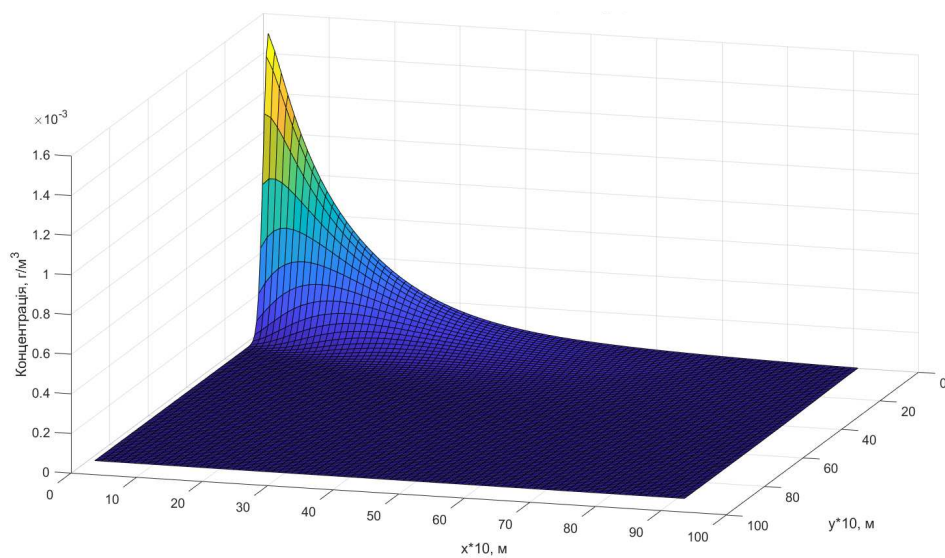
Рис. 2. Концентрація викиду уздовж осьової лінії струменя (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)



а)

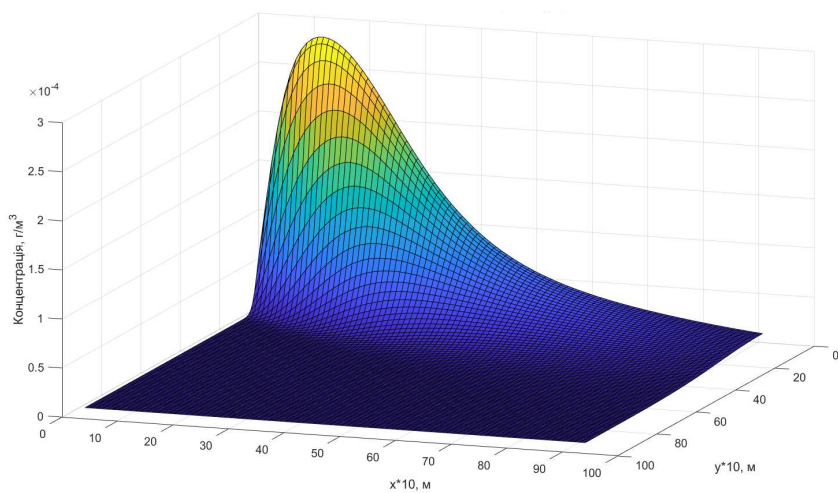


б)

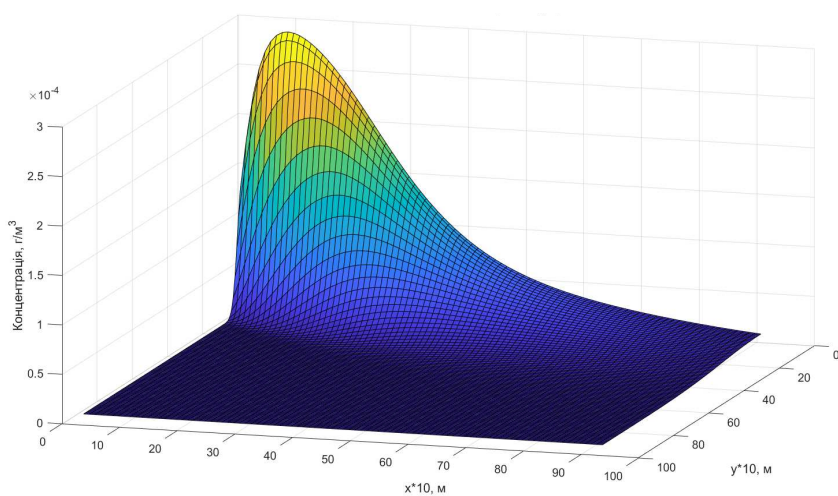


в)

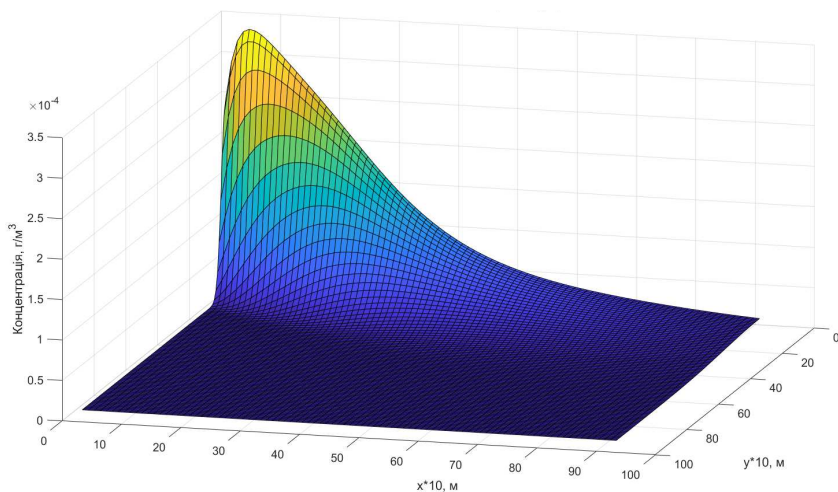
Рис.3. Приземна концентрація викиду при $z=2$ м (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)



а)



б)



в)

Рис. 4. Концентрація викиду при $z=50$ м (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)

Зміна приземної концентрації по відношенню до фонові має вигляд:

$$\frac{C + C_{\phi}}{C_{\phi}}, \quad (5)$$

де C – приземна концентрація викиду CO_2 , г/м^3 ; C_{ϕ} – фонові концентрація CO_2 в атмосферному повітрі, г/м^3 .

Як відомо, за нормальних умов в 1 м^3 атмосферного повітря міститься приблизно 350 см^3 CO_2 . [6]. Визначимо густину газу за нормальних умов, щоби знайти значення фонові концентрації в г/м^3 .

Аналіз показав, що за нормальних фонових значень CO_2 , викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу, оскільки зміна концентрації є у межах 0,5-1,5 %.

Висновки. Удосконалена залежність для визначення віртуальної висоти стаціонарних джерел.

Змодельовано процес розсіювання діоксиду вуглецю при викиді зі стаціонарних джерел різної висоти, що дасть змогу визначити зміну концентрації газу в атмосферному повітрі на території об'єкта та можливість впливу на персонал.

Підтверджено, що зміна концентрації викиду CO_2 , залежить від висоти джерела. Із зменшенням висоти стаціонарного джерела концентрація газу в атмосферному повітрі збільшується; на відстані 500 м від джерел концентрація газу в повітрі відповідає фоновому значенню.

Аналіз розподілу концентрації показав, що за нормальних фонових значень CO_2 , викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу.

Подальший напрямок досліджень полягає у розробленні багатофункціональної системи техногенно-екологічної безпеки об'єктів паливно-енергетичного комплексу.

Література

- 1 Річний звіт 2019. Група Нафтогаз. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Naftogaz_2019-UA.pdf.
- 2 Сторчак С.О., Маслюченко В. Г. Дмитрик В. В. Актуальні аспекти екологічної політики в нафтогазовому комплексі (на прикладі Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України»// Нафтогазова галузь України. 2015. № 2. С. 40–45.
- 3 Річний звіт 2018 Група Нафтогаз. URL: <https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual-Report-2018-ukr.pdf>.
- 4 Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities // Environmental Problems, Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2016. 2(1). P. 19–23.
- 5 Клименко М. О., Залеський І. І. Техноекоекологія . Рівне: 2010. 298 с.
- 6 Білецька Г. А. Моніторинг довкілля. Львів: 2013. 149 с.
- 7 Мокін В. Б., Дзюняк Д. Ю. Метод оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі моделі Гауса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання //Математичне моделювання в економіці, 2016. 3-4 (7) . С. 27–35.
- 8 Крижанівський Є. І., Кошлак Г. В. Екологічні проблеми енергетики //Нафтогазова енергетика. 2016. No 1(25) С.80–90.
- 9 Kryvenko G. M., Vozniak L. V. Research of pollutants emissions into the atmosphere by stationary sources // Book of abstracts III International Scientific-Technical Conference. Kielce. 2019. P.58.
- 10 Лесів М. Ю., Боянівська Н. І. Просторове моделювання емісій парникових газів у промисловості та будівництві південних регіонів Польщі //Моделювання та інформаційні технології. 2013. Вип. 67. С. 105-110.
- 11 Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеоздат, 1985. 272 с.
- 12 Енергоекоекологічна безпека нафтогазових об'єктів: монографія /Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: Лілея –НВ, 2007. 556 с.
- 13 Беляев Н. Н., Берлов А. В., Шевченко А. В. Моделирование аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива // Наука та прогрес транспорту, 2014. №5 (53). С.2–38.

14 Брук В. В., Берешко И. Н. Математические модели в экологии. Ч. 2. Х.: 2006. 68 с.

15 Бекетов В. Е. Евтухова Г. П., Коваленко Ю. Л. Рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и методики расчета приземных концентраций. Х.: 2011. 74 с.

H. Kryvenko

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERIC AIR BY OIL AND GAS COMPLEX OBJECTS

Oil and gas companies account for a significant amount of greenhouse gas emissions. The main task of the environmental policy of oil and gas companies is to ensure efficient operation, which includes reducing environmental risks in the production process. Solving the problems related to environmental protection and improving the quality of its social component is always relevant. The urgency is to reduce the man-made load on the environment by oil and gas companies. The aim of the work was to analyze greenhouse gas emissions into the atmosphere by the oil and gas complex objects. In the course of the research, the following tasks were solved: the process of greenhouse gas dispersion in the atmospheric air during emission from a stationary source was modelled; changes in the concentration of greenhouse gas in the air and the possibility of impact on the health of service personnel were analyzed. The research object was the oil and gas company, the research subject – the assessment of greenhouse gas emissions into the atmosphere by stationary sources.

The choice of carbon dioxide for research was substantiated. The concentrations of carbon dioxide emissions from stationary sources were calculated using the empirical-statistical Gaussian model. The dependence for determining the virtual height of stationary sources was improved. The process of carbon dioxide dispersion during emission from stationary sources was simulated, which would help to determine the change of gas concentration in the atmospheric air on the site and the possibility of impact on the personnel. It was proved that the change in the concentration of carbon dioxide emissions depended on the source height. As the height of the stationary source decreases, the concentration of gas in the air increases; at a distance of 500 m from the sources, the concentration of gas in the air corresponds to the normal background value. Under normal background values of carbon dioxide, the company's emissions do not pose a threat to personnel health.

Key words: carbon dioxide, concentration, modeling, ecological policy, stationary sources.

References

1 Annual Report 2019. Naftogaz Group. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Naftogaz_2019_UA.pdf.

2 Storchak S.O., Masluichenko V.H., Dmytryk V.V. Aktualni aspekty ekologichnoii polityky v naftogazovomu kompleksi (na prykladi aktsionernoi kompanii «Naftogaz Ukrainy»//Naftogazova galuz Ukrainy. 2015. # 2. S. 40–45.

3 Annual Report 2018. Naftogaz Group. URL: <https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual-Report-2018-ukr.pdf>.

4 Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities // Environmental Problems, Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2016. 2(1). P. 19–23.

5 Klymenko M. O., Zaleskyi I. I. Tekhnoekologiya. Rivne: 2010. 298 s.

6 Biletska G. A. Monitoryng dovkillia. Lviv: 2013. 149 s.

7 Mokin V. B., Dziuniak D. Iu. Metod otsiniuvannia parametriv statsionarnoho dzherela vykydu na osnovi modeli Gausa za danymy operatyvnoho monitorynhu zony rozsiuvannia // Matematychni modeliuvannia v ekonomitsi, 2016. 3-4 (7), S. 27–35.

8 Kryzhanivskyi Ye. I., Koshlauak G. V. Ekologichni problemy enerhetyky // Naftohazova enerhetyka. 2016. # 1 (25) S. 80 – 90.

9 Kryvenko G. M., Vozniak L. V. Research of pollutants emissions into the atmosphere by stationary sources // Book of abstracts III International Scientific-Technical Conference. Kielce. 2019. P.58.

10 Lesiv M. Yu., Boianivska N. I. Prostorove modeliuвання emisii parnykovykh haziv u promysloyosti ta budivnytstvi pівdennykh rehioniv Polshchi // Modeliuвання ta informatsiini tekhnolohii. 2013. 67. S.105-110.

11 Berlyand M. E. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 272 s.

12 Enerhoekolohichna bezpeka naftohazovykh ob'ektiv: monohrafiia / R. M. Govdiak ta in. Ivano-Frankivsk: Lileia, NV, 2007. 556 s.

13 Belyaev N. N., Berlov A. V., Shevchenko A. V. Modelirovanie avariynogo zagryazneniya atmosfery pri chrezvyichaynoy situatsii v hranilische tverdogo raketnogo topliva // Nauka ta progres transportu, 2014. #5 (53). S.2–38.

14 Bruk V. V., Bereshko I. N. Matematicheskie modeli v ekologii. Ch. 2. H.: 2006. 68 s.

15 Beketov V. E. Evtuhova G. P., Kovalenko Yu. L. Rasseivanie zagryaznyayuschih veschestv v atmosfernom vozduhe i metodiki rascheta prizemnyih kontsentratsiy. H.: 2011. 74 s.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 556.5.08:543.52

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-58-71

В. Г. Сінченко

*ДП "Науковий центр превентивної
токсикології, харчової та хімічної
безпеки імені академіка Л. І. Медведя
МОЗ України*

ПРО СПЕКТРОМЕТРИЮ РАДІОНУКЛІДІВ Cs-137 І Sr-90 У ПОВЕРХНЕВИХ ПРІСНИХ ВОДАХ ТА ВІДПОВІДНІСТЬ ЇХ АКТИВНОСТІ ДОПУСТИМИМ РІВНЯМ

Розглянуто задачу співставлення показників радіаційної дії забрудненої радіонуклідами (РН) ^{137}Cs і ^{90}Sr поверхневої води з допустимими рівнями (ДР) їх активності. Запропоновано новий підхід до розрахунку показника відповідності (ПВ), який оцінює вміст у воді РН ^{137}Cs або ^{90}Sr . Основою підходу є припущення про залежність ПВ від відносної величини параметру відхилення. Параметр відхилення визначена в долях мінімально вимірюваної спектрометром питомої активності РН (МВПА). Досліджено вплив на ПВ коефіцієнта запасу, який компенсує неточності розрахунку значення МВПА. Запропоновано алгоритм встановлення величини коефіцієнта запасу як функції параметру відхилення. Алгоритм базується на даних серії вимірювань одного лічильного зразка.

Представлено рівняння для розрахунку коефіцієнта запасу. У ньому використана модель опису розподілу відносної похибки вимірювання нормованою функцією Гауса. Придатність останньої обґрунтована результатами вимірювання активності РН ^{137}Cs . Застосовано представлення аргументу функції Гауса двома параметрами. Одним з них є параметр відхилення, інший регулює ширину піку розподілу. Для встановлення обох параметрів функції Гауса використано метод мінімізації квадратів відхилень. За отриманих значень експонента оптимально описує результат експерименту. Встановлено універсальне рівняння для розрахунку ПВ. При цьому застосовано ряд положень теорії оперативної характеристики випробування. Рівняння поєднує два окремих співвідношення, за якими ПВ щодо РН ^{137}Cs або ^{90}Sr , зазвичай, може розраховуватись в задачі аналізу радіаційної якості поверхневої води.

Представлено результати розрахунків ПВ, коефіцієнта запасу та інших параметрів щодо їх визначення. Використано дані вимірювання активності РН ^{137}Cs у двох модельних зразках-аналогах можливих лічильних зразків поверхневої води. Підтверджено ефективність алгоритму розрахунку для інтервалів відхилень поблизу нижньої межі вимірювання активності РН. Результати відповідають фізичним передумовам, які закладені у модель обробки спектрометричних даних. Запропоновані співвідношення гарантовано забезпечують визначення класу чистоти та категорії забрудненості води в процесі трактування отриманих в результаті випробування даних.

Ключові слова: категорія забрудненості; критерії екологічного стану; показники радіаційної дії; спектрометрія радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr ; поверхневі прісні води.

Окреслення проблеми, її актуальність. Антропогенне навантаження на території та їх гідроекосистеми обґрунтовує необхідність вивчення наявного забруднення поверхневих вод та управління їх якістю. Дослідження цього напрямку в попередні роки представлені рядом авторів, як у поточних виданнях, так і монографіях, наприклад [3, 13]. Увагу привертають результати робіт, в яких наведено дані щодо зміни якості під впливом забруднювачів, вміст яких у воді є незначним. До таких робіт можна, зокрема, віднести монографії [5, 11]. В них описуються механізми впливу на склад води забруднювачів різного напрямку дії, супутніх факторів процесів

та гідрологічних чинників. Актуальність зазначеного напрямку досліджень підкреслена і у Водній Рамковій Директиві ЄС 2000/60/ЄС [1].

Незначні рівні забруднення територій радіонуклідами (РН) різного походження, в тому числі ^{137}Cs і ^{90}Sr , через механізми фільтрації і накопичення на зависях, а також у донних відкладеннях, призводять до їх появи у поверхневих водах [6], гідробіонтах та іхтіофауні водних об'єктів [16, 17]. Наявні у воді антропогенні РН додатково підсилюють загальний фон γ - та β -активності поверхневої води. Зазначені фактори обумовлюють причини, згідно яких питома активність вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr є показником, який у основних класифікаціях екологічної якості води визначено в складі розділу “Специфічні показники” [8]. Активність РН ^{137}Cs і ^{90}Sr є складовою частиною індексу води – комплексного показника за яким інтегрально оцінюється її якість у відповідних категоріях забрудненості. Таким чином, дослідження щодо встановлення вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr , співставлення їх результатів із значеннями допустимих рівнів (ДР) зазначених РН по категоріям забрудненості, відносяться до значимої для практики загальної задачі – оцінювання якості поверхневої води та екологічного стану водного об'єкту.

Попередні дослідження, їх аналіз. Визначення ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневій воді з метою оцінювання її якості та радіаційної безпечності для оточуючого середовища традиційно базується на методах радіохімічного аналізу. Відомі ряд методик виконання вимірювань (МВВ) такого аналізу, узагальнюючою з яких є [9]. Зазначимо, що ця МВВ передбачає використання значного об'єму води, до 50 дм³ на один аналіз. Вміст РН ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневих прісних водах суші може визначатись і з використанням спектрометричних методів. Алгоритм визначення, вибір технологічних параметрів такого дослідження та один з можливих критеріїв оцінювання представлено у [14].

Низькі значення ДР вмісту РН ^{137}Cs і ^{90}Sr , а одночасно і вплив останніх на стан у гідроекосистемі водного об'єкту за таких ДР, обумовлюють необхідність при використанні результатів вимірювання брати до уваги параметри їх точності. Особливо важливим це є при оцінюванні вод, яка відносяться згідно класифікацій якості [7, 8] до класу чистої або особливо чистої води. У такому випадку, як правило, загальна відносна похибка визначення вмісту РН є максимальною. Зокрема для радіохімічного методу її величина на практиці може досягати 30, а часом і більше відсотків. Дані моніторингових досліджень, які, зазвичай, приводяться в наукових виданнях, наприклад [4, 10], як правило оминають питання точності вимірювання. За таких умов можна використати лише спрощений підхід до співставлення вимірюваної активності РН ^{137}Cs і ^{90}Sr з їх ДР. Хоча використання в якості результату вимірювання лише його середнього значення не може вважатись метрологічно обґрунтованим саме така основа закладена у згаданих вище класифікаціях. В них виміряне середнє значення активності ставиться у відповідність класу чистоти та категорії забрудненості. При цьому обчислюється перевищення значення над мінімальним в категорії та відношення перевищення до діапазону зміни активності в межах категорії.

Невирішені частини проблеми. Низька точність, особливо в діапазоні поблизу нижньої межі вимірювання, як для радіохімічного так і спектрометричного методів аналізу, не забезпечує трактовку отриманого середнього значення активності як однозначно вимірюваної величини. Використовувані алгоритми та розрахункові співвідношення не сприяють коректному визначенню категорії забрудненості. Наявна у класифікаціях екологічного стану поверхневих вод величина розривів по діапазону змін питомої активності (у відносних одиницях, зокрема для РН ^{137}Cs , орієнтовно 0,02–0,07) не перебиває вплив на результат прийняття рішення похибок вимірювання. За зазначених обставин задачу встановлення категорії забрудненості води доцільно вирішувати з позиції підходів теорії метрології [15]. Застосування засобів сучасного спектрометричного контролю до визначення ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневих водах різного рівня забрудненості забезпечує процес відносно простого отримання усіх складових результату вимірювання. На цьому ґрунті стає можливим при співставленні результату з величиною ДР активності зазначених РН використати положення теорії випробувань [2]. Вони враховують статистичну природу процесу вимірювання і, як загально прийнято, коректно відображають його результат.

Мета. Робота присвячена застосуванню показників радіаційної дії РН ^{137}Cs та ^{90}Sr як складових етапу інтегрального оцінювання якості поверхневої води. Мета роботи полягає у знаходженні моделі та встановленні можливостей співставлення результатів спектрометричного вимірювання та ДР активності РН. Мета передбачає метрологічну коректність у використанні даних вимірювання. Робота зорієнтована на вирішення задачі у випадку вод з низьким рівнем

вмісту РН ^{137}Cs і ^{90}Sr . За екологічною класифікацією діапазон значень ДР показників таких вод відповідає верхній межі початкових категорій забрудненості.

Завдання. Заявлена мета передбачає встановлення аналітичного співвідношення критерію співставлення даних вимірювання та ДР активності. Воно повинно містити всі метрологічні компоненти результату. З позиції достовірності оцінки має бути розроблений алгоритм, який забезпечує можливість досвідати до процедури оцінювання метрологічні характеристики спектрометра, методик контролю та оцінювання. Є необхідність і в апробації алгоритму. Передбачається встановити результат співставлення на прикладі даних вимірювання активності ^{137}Cs у модельному зразку та оцінити вплив розрахункових параметрів на процес прийняття рішення щодо належності води відповідній категорії забрудненості.

Основний матеріал, результати, обговорення. Визначення стану екосистем водних об'єктів, класифікація якості їх води передбачає, зокрема, аналіз активності РН ^{137}Cs і ^{90}Sr . Вимірювання активності у випадку чистих та особливо чистих вод через необхідні для аналізу значні об'єми води практично завжди здійснюється в режимі випробування. При порівнянні отриманого значення з величиною ДР активності достовірність відповідності у такому випадку визначається шляхом введення в оціночне співвідношення відповідного коефіцієнту корекції. Останній визначається на основі оперативної характеристики, параметри якої можна визначити за функціональними зв'язками між ними та похибками вимірювання МВВ і параметрами методики виконання контролю (МВК).

Через однотипність співвідношень співставлення виміряної величини активності РН ^{137}Cs , та ^{90}Sr з відповідними ДР їх вмісту по категоріям забрудненості аналіз проведемо на прикладі одного з них. Для цього введемо маркувальний індекс "Хх", який може відповідати належності величини як до ^{137}Cs , так і до ^{90}Sr . Значення ДР тоді позначиться як U_{Xx} . Представимо через ${}^m A_{Xx}/U_{Xx}$ відношення мінімальної вимірюваної питомої активності (МВПА) ${}^m A_{Xx}$ до ДР. В наближенні обмеженого нормального закону розподілу виміряних значень активності ^{137}Cs і ^{90}Sr та ряду інших менш суттєвих припущень нерівність належності РН Хх до відповідної категорії забрудненості може бути виписана наступним чином:

$${}^{Xx}K_{Kon} \cdot [\bar{A}_{Xx}/U_{Xx} + Z(P_{\kappa}, P) \cdot \Delta A_{Xx}(P)/U_{Xx}] \leq 1,0. \quad (1)$$

У співвідношенні (1) через ${}^{Xx}K_{Kon}$ позначено коефіцієнт концентрування зразка води по масі або об'єму, а через ${}^{Xx}K_{Kon} \cdot \bar{A}_{Xx}$ виміряне середнє значення питомої активності РН Хх. Величина ${}^{Xx}K_{Kon} \cdot \Delta A_{Xx}(P)$ представляє абсолютну похибку вимірювання середнього значення, яка визначена за довірчої імовірності P . Числове значення лівої частини нерівності (1) тотожно дорівнює показнику відповідності $\Pi_{\text{вон}}$.

З нерівності (1) випливає, що при односторонньому оцінюванні виміряних значень питомої активності з ДР, на рішення щодо встановлення категорії забрудненості води суттєво впливають метрологічні характеристики спектрометра. Частиною спектрометричної МВВ є інформація щодо мінімального та максимального значення похибки вимірювання. Як відомо з метрології, похибка зростає при наближенні до нижньої межі вимірювання. За зростання похибки нерівність (1) може бути виконана лише при зменшенні значення добутку ${}^{Xx}K_{Kon} \cdot \bar{A}_{Xx}$. Це визначає актуальність розгляду застосування критерію належності води категорії забрудненості саме в діапазоні нижньої межі вимірювання.

При дослідженнях вмісту РН ^{137}Cs та ^{90}Sr у поверхневих водах часто виникає ситуація, коли хоча би для одного, а то і обох РН, наявна активність у воді менша за МВПА. Остання може бути визначена для спектрометра за конкретних умов підготовки лічильного зразка. В позначеннях відносної похибки δ_{Xx} , за довірчої імовірності P , з припущенням щодо рівності коефіцієнту запасу ${}^m Z$ для обох РН, нерівність критерію належності води до відповідної категорії забрудненості запишеться у вигляді:

$${}^{Xx}K_{Kon} \cdot [{}^m Z \cdot {}^m A_{Xx}/U_{Xx} + {}^m Z \cdot Z(P_{\kappa}, P) \cdot ({}^m A_{Xx}/U_{Xx}) \cdot {}^m \delta_{Xx}] \leq 1,0. \quad (2)$$

Значення МВПА ${}^m A_{Xx}$ встановлюється розрахунковим способом. Воно визначається програмним забезпеченням (ПЗ) спектрометра за даними експерименту про швидкість лічби корисного та фонових сигналів при метрологічній атестації. Використовуються при цьому також інформація про ефективність детектора випромінювання, час вимірювання, про довірчу імовірність та деякі інші параметри спектрометра. Аналогічно $\Delta A_{Xx}(P)$ з нерівності (1), множник ${}^m Z \cdot K(P) \cdot {}^m \delta_{Xx}$ з точністю до постійної визначає відносну похибку вимірювання ${}^m \delta_{Xx}$, яка застосовується при обчисленні МВПА. В її складі можна передбачити і коефіцієнт, який дає можливість врахування впливу закону розподілу вимірюваних значень активності на похибку при

зміні значення P . Крім того наявний у (2) коефіцієнт корекції $Z(P_k, P)$ для однократних вимірювань підготовленого з води лічильного зразка можна розрахувати за рівнянням:

$$Z(P_k, P) = K_A(P_k) \cdot K_t(P) = K_A(P_k) \cdot {}^n t(0,9999) {}^n t(P). \quad (3)$$

У співвідношенні (3) ${}^n t(0,9999)$ та ${}^n t(P)$ – значення інтегралу імовірності для імовірності $P = 0,9999$ та P відповідно. Коефіцієнт $K_A(P_k)$ визначається з графічної залежності величини достовірності контролю P_k при випробуванні по параметру відхилення вимірюваного значення активності від ДР. Відхилення представляється у нормалізованих координатах як частка точкової або інтервальної оцінки значення похибки, яка приведена до імовірності $P = 1,0$. Для імовірності контролю $P_k = 0,90, 0,95$ та $0,99$ значення коефіцієнту $K_A(P_k)$ становить відповідно $0,46, 0,61$ та $0,82$.

Коефіцієнт $Z(P_k, P)$, який розраховується за рівнянням (3), є наближеним. Його оціночне зверху значення визначає коефіцієнт переходу від величини $\Delta A_{Xx}(0,95)$ до $\Delta A_{Xx}(0,9999)$. Рівняння (3) встановлено за умови використання рівняння, за яким ПЗ спектрометрів серії СЕБ 01–XX та СЕГ 01–XX визначає абсолютну похибку вимірювання $\Delta(0,95)$. Аналітичний вираз рівняння представляється формулою:

$$\Delta(P) = K(P) \cdot [F(P) \cdot (\sum \square_j^2 / 3)^{0.5} + {}^n t(P) \cdot S(\tilde{A})]. \quad (4)$$

У формулі (4) доданок $F(P) \cdot (\sum \square_j^2)^{0.5}$ – невиключена систематична похибка (НСП), де сумування проводиться за всіма компонентами θ_j . Через $S(\tilde{A})$ позначено оцінку випадкової складової похибки вимірювання. Емпіричні коефіцієнти $K(P)$ та $F(P)$ є функціями величини імовірності P . Коефіцієнт $K(P)$, крім того, залежить також від числа складових НСП та відношення НСП до оцінки випадкової складової похибки $\gamma(P)$. В рамках одного із способів визначення значення $\gamma(P)$ розраховується за рівнянням [12]:

$$\gamma(P) = F(P) \cdot (\sum \cdot j^2)^{0.5} / (\sqrt{3} \cdot F(P) \cdot S(A)). \quad (5)$$

Співвідношення (5) справедливо за припущень щодо рівномірності закону розподілу складових НСП та обмеженого нормального для випадкової складової похибки у всьому діапазоні зміни довірчої імовірності P . За відомих значень коефіцієнтів $F(P)$, провівши варіацію складової частини параметра $\gamma(P)$, а саме $F(P) \cdot (\sum \cdot j^2)^{0.5} / S(A)$ в межах, зазвичай, використовуваних при розрахунках цілих значень від 1 до 8, можна для різних P встановити коефіцієнти $K(P)$, використавши при цьому рівняння [12]:

$$K(P) = (1 + \gamma^2(P))^{0.5} / (1 + \gamma(P)). \quad (6)$$

Рівняння (5) та (6) покладені в основу знаходження мінімального та максимального значення коефіцієнта $K(P)$, відповідно $K_{\min}(P)$ та $K_{\max}(P)$, за дискретності зміни значення $F(P) \cdot (\sum \cdot j^2)^{0.5} / S(A) = 1,0$. Величину коефіцієнтів $F(0,999)$ та $F(0,9999)$ встановлено шляхом лінійної екстраполяції значень $F(P)$ як функції множника, який пов'язує величину довірчого інтервалу з оцінкою $S(A)$. Використано при цьому значення $F(0,99) = 1,40$ та $F(0,9973) = 1,61$, які встановлені для числа складових НСП 5 і більше [2]. Результати розрахунку для різної величини імовірності P зазначених коефіцієнтів, та інших, які зазвичай використовуються при аналізі точності вимірювання, наведено в табл. 1. Там же представлені розраховані мінімальне $\check{K}_{\min}(P)$ та максимальне $\check{K}_{\max}(P)$ значення коефіцієнта $K(P)$, які встановлені лінійною екстраполяцією в рамках моделі збільшення його величини із зростанням P . Додатково подано також значення коефіцієнтів ${}^n t(p)$ і $K_t(P)$. Останній розраховано як ${}^n t(0,9999) / {}^n t(p)$.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів $F(P)$, $K_{\min}(P)$, $K_{\max}(P)$, $\check{K}_{\min}(P)$, $\check{K}_{\max}(P)$, ${}^n t(p)$ та $K_t(P)$ за різної імовірності P

P	$F(P)$	$K_{\min}(P)$	$K_{\max}(P)$	$\check{K}_{\min}(P)$	$\check{K}_{\max}(P)$	${}^n t(p)$	$K_t(P)$
0,9000	0,95	0,7104	0,8468	0,665	0,790	1,645	2,358
0,9500	1,10	0,7073	0,8302	0,710	0,800	1,960	1,985
0,9800	1,30	0,7083	0,8107	0,770	0,837	2,326	1,673
0,9900	1,40	0,7104	0,8019	0,800	0,850	2,576	1,508
0,9990	1,66	0,7073	0,7868	0,878	0,885	3,291	1,182
0,9999	1,69	0,7072	0,7796	0,887	0,888	3,891	1,000

Усі, окрім $K_i(P)$, коефіцієнти табл. 1 є складовою частиною формули, яка визначає границю довірчого інтервалу. Підставляючи їх послідовно у рівняння (4) отримуємо значення границі для кожної величини імовірності P . Помножимо праву і ліву частину рівняння (4) на коефіцієнт $K_i(p)$ і порівняємо результати з даними, які отримано з (4) при $P = 0,9999$. Слід виділити випадок максимальної розбіжності, яка спостерігатиметься за використання коефіцієнтів $\check{K}_{\min}(P)$ або $\check{K}_{\max}(P)$. Таке порівняння свідчить, що доданки, які стосуються НСП, дещо перевищують аналогічний доданок, який відповідає $P = 0,9999$. Хоча максимальне перевищення відповідає коефіцієнтам $K_i(0,90)$ та $K_i(0,95)$, вплив останніх частково може бути компенсованим за рахунок менших величин коефіцієнтів $\check{K}_{\min}(P)$ або $\check{K}_{\max}(P)$ при таких величинах імовірності P . На додачу складова випадкової похибки для цих же величин P теж є меншою за ту, яка відповідає $P = 0,9999$. Незначне зростання випадкової складової із збільшенням P не суттєво впливає на результат визначення величини $\Delta(0,9999)$ через зменшення впливу коефіцієнта $K_i(P)$. Таким чином дані табл. 1 свідчать, що використання коефіцієнту $K_i(P)$ як множника для знаходження величини $\Delta(0,9999)$ по вимірюваному значенню $\Delta(P)$ дає завищений результат. Воно обумовлює і завищену величину коефіцієнту корекції, значення якого визначається за рівнянням (3). Однак в практичній діяльності отримані зазначеним чином результати часто можуть вважатись прийнятними.

Однією з задач, яку доводиться вирішувати в спектрометрії, є задача співставлення результату вимірювання активності РН із розрахованим значенням ${}^m A_{Xx}$. Прийнято вважати значення ${}^m A_{Xx}$ результатом, якщо вимірне середнє значення питомої активності є меншим за ${}^m A_{Xx}$. Покладений в основу такого співставлення принцип, має суттєвий недолік. Відомо, що в інтервалі поблизу нижньої межі вимірювання величина похибки вимірювання середнього значення активності досягає (60–80), а часом і більше відсотків. В радіометрії об'єктів навколишнього середовища похибка вимірювання обмежується величиною меншою за 40%. Тому використання для розрахунків та оцінок значень, які виміряні в інтервалі активності поблизу межі вимірювання, є проблематичним. Зменшення інтервалу можливе за рахунок уточнення критерію співставлення вимірної активності з величиною ${}^m A_{Xx}$.

Критерій співставлення зазначених величин уточнимо через визначення частки вимірюваних значень активності, яка для заданої імовірності P може вважатись достатньою щоб стверджувати, що переважаюча більшість вимірних значень буде знаходитись в межах інтервалу, який обмежується величиною ${}^m A_{Xx}$ та похибкою $0,4 {}^m A_{Xx}$. Для опису процесу встановлення частки використаємо функцію Гауса, яка описує обмежено нормальний закон розподілу густини імовірності вимірюваних значень. Тоді імовірність знаходження вимірюваного значення в інтервалі від $-\infty$ до Z може бути відображена інтегральною функцією з параметром інтегрування ${}^n t$, загальний вид якої є наступним:

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^Z \exp\left[-\frac{1}{2} {}^n t^2\right] d {}^n t. \quad (7)$$

Проведений за стандартною в метрології процедурою аналіз значень $\Phi(Z)$, які визначені за рівняння (7), показав, що використання збільшеного вимірюваного середнього значення активності в 1,1; 1,2; 1,3 та 1,4 рази від значення ${}^m A_{Xx}$, зменшує частку від 1,0 до 0,9292; 0,8365; 0,6879 та 0,5000 відповідно. Якщо достатньою часткою вважати належність до інтервалу, який обмежує число усіх можливих вимірних значень часткою не меншою аніж 0,75, то значення $1,25 {}^m A_{Xx}$ може вважатись оптимальним для застосування в практичній діяльності. Запропоноване уточнення суттєво зменшує протяжність інтервалу, в якому похибка вимірювання може перевищувати 40 відсотків.

Виміряні величини \bar{A}_{Xx} , $\Delta A_{Xx}(P)$ та розрахована ${}^m A_{Xx}$ встановлюються як результат математичної обробки електронного спектру РН ${}^{137}\text{Cs}$ або ${}^{90}\text{Sr}$. Останній накопичується з дискретних значень в інтервалі часу вимірювання t_i . Тому кожна із зазначених величин є функцією часу t_i . За його зростання, розрахована ПЗ спектрометра кожна із величин все більше наближається до відповідного їй усередненого значення. Останнє із подальшим зростанням t_i все менше різниться від попереднього. Задаючи діапазон допустимих відхилень, кожній із спектрометрично встановлюваних величин, можна встановити мінімальний інтервал часу вимірювання t_i . Практика вимірювань з використанням бета-спектрометра СЕБ 01–150 показує наступне. При виборі часу t_i більшого за 2400 с, для переважної більшості лічильних зразків

відхилення вимірних середніх значень у кожній із зазначених величин не відрізняється більш аніж на 30% від її значення, за яке приймається визначене при $t_i = 7200$ с.

Документація на спектрометр та ряд вимог МВВ визначають технічні характеристики точності вимірювання. Наявна їх прив'язка до величини МВПА. Тому розглянемо два розрахункові параметри, які поєднують в собі всі визначені ПЗ спектрометра величини. Їх можна визначити таким чином:

$$\chi_{Xx}(t_i) = \bar{A}_{Xx}(t_i) / {}^m A_{Xx}(t_i), \omega_{Xx}(t_i) = \Delta A_{Xx}(t_i) / {}^m A_{Xx}(t_i). \quad (8)$$

Як показує практика, за використання часу більшого за мінімальний, залежності вимірюваних величин від t_i не несуть значної інформації. Однак залежність відносної похибки вимірювання активності РН $\delta_{Xx}(t_i) = \omega_{Xx}(t_i) / \chi_{Xx}(t_i)$, як функції $\chi_{Xx}(t_i)$, є більш інформативною. Вона може бути встановлена за розрахованими ПЗ спектрометра даними, які отримані за різний час вимірювання. На Рисунку представлено такого роду результати. Первинні дані отримані за допомогою бета-спектрометра СЕБ 01–150. Досліджено ряд лічильних зразків, які приготовлені із золи забрудненої РН ^{137}Cs чорниці. Також зазначена маса золи у зразку та інтервал часу від першого до останнього вимірювання.

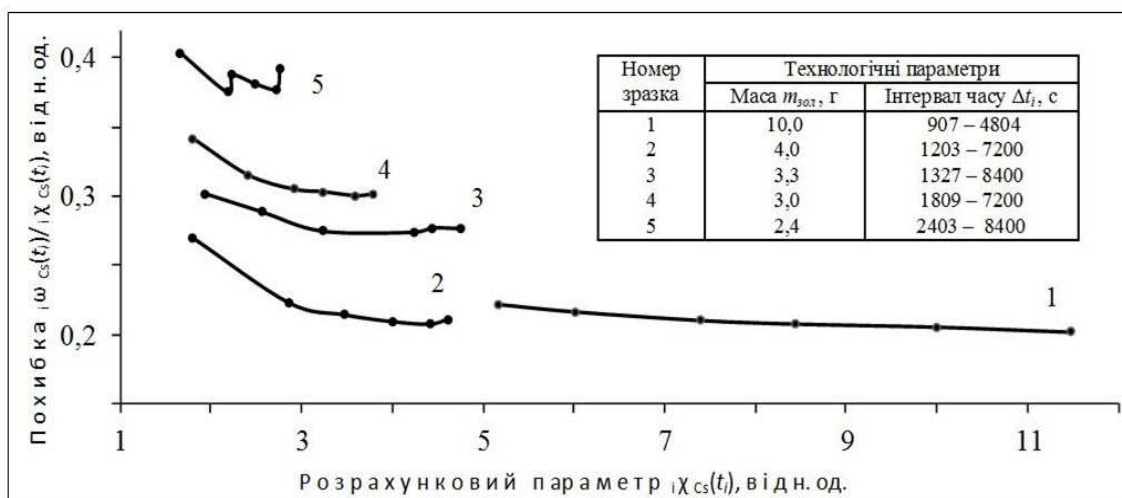


Рис. Залежності відносної похибки $\omega_{Cs}(t_i)/\chi_{Cs}(t_i)$ як функції параметра $\chi_{Cs}(t_i)$ для лічильних зразків різної маси $m_{\text{зол}}$ золи чорниці з РН $\text{Cs}-137$. Розрахункові точки на кривих відповідають часу вимірювання t_i в зазначених інтервалах часу Δt_i

Як видно з рис., для всіх досліджених зразків із зростанням параметру $\chi_{Xx}(t_i)$ величина $\delta_{Xx}(t_i) = \omega_{Cs}(t_i) / \chi_{Cs}(t_i)$ зменшується. Від початкових значення $\delta_{Xx}(t_i)$ переходять на рівень наближений до постійних величин. Наявні незначні флуктуації, особливо у випадку зразків низького рівня активності, для яких $\delta_{Xx}(t_i)$ є наближеною до значення 0,40. Представлені графіки вказують на можливість апроксимації даних вимірювання рядом функцій, особливою яких є їх проходження через точку $\chi_{Xx}(t_i) = 1,0$ та $\delta_{Xx}(t_i) = 0,40$. До них можна віднести, зокрема, наступні функції, які легко адаптувати під зазначену особливість:

$$f(\chi_{Xx}(t_i)) = (\chi_{Xx}(t_i))^{-q}, f(\chi_{Xx}(t_i)) = \exp[-(\chi_{Xx}(t_i) - 1)], f(\chi_{Xx}(t_i)) = \exp[-0,5 \cdot (\chi_{Xx}(t_i) - 1)^2 / \sigma_{Xx}^2]. \quad (9)$$

Основне призначення представлених функцій полягає в прогнозуванні результатів вимірювання активності в область більших за виміряні величин $\chi_{Xx}(t_i)$. Ще одним їх застосуванням може вважатись встановлення усереднених експериментально визначених із значною розбіжністю величин похибки вимірювання активності. Останнє є суттєвим, особливо для інтервалу від $\chi_{Xx}(t_i) = 1,0$ до $\chi_{Xx}(t_i) \approx 2,0$. Подібна ситуація часто виникає при аналізі стану водних об'єктів з низьким рівнем вмісту РН у їх воді.

Розглянемо криву 1 на рис. 1, яка відповідає лічильному зразку з високим рівнем активності РН ^{137}Cs . Виходячи з її виду визначимо величину ${}_{\text{ов}}\delta_{Xx}$ як межу до якої наближається функція відносної похибки ${}_{\text{в}}\delta_{Xx}(\chi_{Xx}(t_i))$ при збільшенні її аргументу $\chi_{Xx}(t_i)$ та констант, в тому числі q . Значення ${}_{\text{ов}}\delta_{Xx}$ може встановлюватись графічним або аналітичним методами. Найпростіше для його знаходження використати усереднення кінцевих вимірних значень активності. В якості загального рівняння для встановлення величини функції ${}_{\text{в}}\delta_{Xx}(\chi_{Xx}(t_i))$ при різних значеннях параметра $\chi_{Xx}(t_i)$ зручно використовувати наступне:

$${}_{\text{в}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i)) = {}_{\text{об}}\delta_{\text{Xx}} + (0,40 - {}_{\text{об}}\delta_{\text{Xx}}) \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(\chi_{\text{Xx}}(t_i) - 1)^2}{{}_{\text{об}}\sigma_{\text{Xx}}^2(t_i)} \right]. \quad (10)$$

У рівнянні (10) застосовано одну з наведених у (8) функцій, а саме нормовану функцію Гауса. Її змінними величинами є параметри $\chi_{\text{Xx}}(t_i)$ та ${}_{\text{об}}\sigma_{\text{Xx}}(t_i)$. Функціонал останнього полягає в можливості зміни ширини піка. Наслідком рівняння (10) є те, що величина ${}_{\text{в}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i))$ змінюється в межах від 0,40 до нижнього значення ${}_{\text{об}}\delta_{\text{Xx}}$. Крива залежності ${}_{\text{в}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i))$ від $\chi_{\text{Xx}}(t_i)$ за умова її проходження через точку, положення якої визначається параметрами $\chi_{\text{Xx}}(t_i)$ та $\omega_{\text{Xx}}(t_i)$ в момент часу t_i , однозначно визначає і величину ${}_{\text{об}}\sigma_{\text{Xx}}(t_i)$. Аналогічно може бути представлена і функція відносної похибки ${}_{\text{н}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i))$ для випадку лічильного зразка низького рівня активності РН. Загальне рівняння при цьому запишеться як:

$${}_{\text{н}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i)) = {}_{\text{он}}\delta_{\text{Xx}} + (0,40 - {}_{\text{он}}\delta_{\text{Xx}}) \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(\chi_{\text{Xx}}(t_i) - 1)^2}{{}_{\text{он}}\sigma_{\text{Xx}}^2(t_i)} \right]. \quad (11)$$

Для спрощення запису в подальшому розгляді залежність від часу вимірювання t_i відобразимо через індекс "i", який введемо у позначення параметрів. В результаті отримаємо: $\chi_{\text{Xx}}(t_i) = {}_i\chi_{\text{Xx}}$, $\omega_{\text{Xx}}(t_i) = {}_i\omega_{\text{Xx}}$, ${}_{\text{он}}\sigma_{\text{Xx}}(t_i) = {}_{\text{он}}\sigma_{\text{Xx}}$ та ${}_{\text{об}}\sigma_{\text{Xx}}(t_i) = {}_{\text{об}}\sigma_{\text{Xx}}$, де через ${}_{\text{он}}\sigma_{\text{Xx}}(t_i)$ позначено параметр функції Гауса у випадку вимірювань зразка з низьким рівнем активності РН. На відміну від випадку визначення величини ${}_{\text{об}}\delta_{\text{Xx}}$, через можливу значну розбіжність експериментальних даних, значення ${}_{\text{он}}\delta_{\text{Xx}}$ доцільно встановлювати з використанням методів апроксимації числових рядів, наприклад найменших квадратів. Представлені згідно (8) параметри визначають активність та похибку її вимірювання в долях від МВПА. В цьому випадку показник $\Pi_{\text{одн}}$ стає функцією ${}_i\chi_{\text{Xx}}$. Позначивши його через $\Pi_{\text{одн}}({}_i\chi_{\text{Xx}})$ замість (1) запишемо:

$$\Pi_{\text{одн}}({}_i\chi_{\text{Xx}}) = {}^{\text{Xx}}K_{\text{Kon}} \cdot \left[\frac{{}_i\chi_{\text{Xx}} \cdot {}^m A_{\text{Xx}}}{U_{\text{Xx}}} + Z(P_{\kappa}, P) \cdot \frac{{}_i\chi_{\text{Xx}} \cdot {}^m A_{\text{Xx}}}{U_{\text{Xx}}} \cdot \frac{{}_i\omega_{\text{Xx}}}{{}_i\chi_{\text{Xx}}} \right] \leq 1,0. \quad (12)$$

Аналогічно представляється і рівняння (2), яке застосовується за умови коли визначена ПЗ спектрометра активність РН є меншою за розраховане значення ${}^m A_{\text{Xx}}$, або за уточненим критерієм меншою за $1,25 {}^m A_{\text{Xx}}$. У випадку найчастіше вживаного коефіцієнту ${}^m Z = 1,2$, та допустимого значення відносної похибки МВПА, яке дорівнює 0,40, співвідношення (2) можна переписати наступним чином:

$$\Pi_{\text{одн}}({}_i\chi_{\text{Xx}}) = {}^{\text{Xx}}K_{\text{Kon}} \cdot \left[1,2 \cdot \frac{{}_i\chi_{\text{Xx}} \cdot {}^m A_{\text{Xx}}}{U_{\text{Xx}}} + Z(P_{\kappa}, P) \cdot 1,2 \cdot \frac{{}_i\chi_{\text{Xx}} \cdot {}^m A_{\text{Xx}}}{U_{\text{Xx}}} \cdot 0,40 \right] \leq 1,0. \quad (13)$$

Структура співвідношень (12) і (13) є подібною за двох умов. Перша – це припущення, що в (12) коефіцієнт ${}^m Z = 1,0$. Друга умова стосується значення відносної похибки в момент вимірювання, який визначається часом t_i . Припустимо, що відносна похибка вимірювання у (12) описується функцією яка за наближення параметра $\chi_{\text{Xx}}(t_i)$ до 1,0 добігатиме до значення $({}_i\omega_{\text{Xx}} / {}_i\chi_{\text{Xx}}) = 0,40$. Однією з таких найпростіших функцій, зокрема, може вважатись функція пучка прямих, які проходять через точку із зазначеними вище координатами. Її можна представити у вигляді лінійного рівняння виду:

$$\frac{{}_i\omega_{\text{Xx}}}{{}_i\chi_{\text{Xx}}} = \frac{{}_i\omega_{\text{Xx}} - 0,40}{{}_i\chi_{\text{Xx}} - 1} = \frac{{}_i\omega_{\text{Xx}} - 0,40 \cdot {}_i\chi_{\text{Xx}}}{({}_i\chi_{\text{Xx}} - 1) \cdot {}_i\chi_{\text{Xx}}}. \quad (14)$$

Застосування рівняння (14) в контексті співвідношень (12) та (13) показує, що два останніх можуть бути приведені до одного співвідношення. Його аналітичний вид з високим ступенем наближення буде описувати критерій належності поверхневої води до відповідної категорії її забрудненості. Використаємо спрощений запис функцій: ${}_{\text{н}}\delta({}_i\chi_{\text{Xx}}) = {}_{\text{н}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i))$ та ${}_{\text{в}}\delta({}_i\chi_{\text{Xx}}) = {}_{\text{в}}\delta(\chi_{\text{Xx}}(t_i))$, які доцільно застосувати для моделювання закону розподілу коефіцієнта запасу ${}^m Z$ при зміні параметру ${}_i\chi_{\text{Xx}}$. Різкий, ступеневий перехід від значення 1,2 до 1,0 в точці ${}_i\chi_{\text{Xx}} = 1,0$ з фізичних міркувань є некоректним. Причина полягає у використанні для розрахунку величини ${}^m A_{\text{Xx}}$ усереднення значень різних розрахункових параметрів, наприклад швидкості лічби фонового та корисного сигналів. Точність визначення величини ${}^m A_{\text{Xx}}$ за таких умов в силу статистичної природи останньої, не може різко змінюватись поблизу точки ${}_i\chi_{\text{Xx}} = 1,0$. Окрім того, за

наближенням до нижньої межі вимірювання, як показує практика, спостерігаються лише незначні флуктуації виміряного середнього значення активності. Це підтверджує припущення, що коефіцієнт mZ не має мати різкої зміни, а повинен відображатись плавною функцією параметру ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$.

Зазначені вище міркування обумовлюють логічне припущення щодо розподілу по параметру ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$ коефіцієнта запасу ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ як функції зростання ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$, коли йому ставиться у відповідність розподіл відносної похибки вимірювання активності. Враховуючи, що діапазон варіації коефіцієнта ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ становить $({}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx}) - 1, 0)$, раціонально поставити у відповідність останньому діапазон зміни відносної похибки, який становить $(0,40 - {}_{ov}\tilde{\delta}_{Xx})$. Тут ${}_{ov}\tilde{\delta}_{Xx}$ є межею, до якої наближається відносна похибка і яка встановлена за даними серії вимірювань. Множник переходу β_{Xx} тоді визначатиметься за рівнянням:

$$\beta_{Xx} = 1 / ((0,40 - {}_{ov}\tilde{\delta}_{Xx}) . \tag{15}$$

Необхідні для встановлення ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ величини можна встановити, якщо провести на одному лічильному зразку серію реєстрацій даних активності РН, послідовно збільшуючи в ній час вимірювання. За такого способу встановлення введемо позначення ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$, як спеціальним чином усереднене по параметрам ${}_{on}^i\sigma_{Xx}$ значення. Також позначимо через ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ межу, до якої із зростанням ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$ наближається функція, яка апроксимує експериментальний ряд даних. Аналітичний вид функція розподілу похибки вимірювання ${}_n\tilde{\delta}({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ тоді може визначатись як:

$${}_n\tilde{\delta}({}_i\mathcal{X}_{Xx}) = {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx} + (0,40 - {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}) \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{({}_i\mathcal{X}_{Xx} - 1)^2}{{}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}^2} \right] . \tag{16}$$

Для знаходження значень двох величин ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$ у рівнянні (16) за використання даних серії вимірювань необхідне встановлення додаткової умови. Її базою служить принцип мінімізації суми квадратів відхилень даних експерименту від функції апроксимації Гауса. Якщо позначити $(\Delta\delta)_{min}^2$ як мінімальне значення, а через N число вимірювань активності в серії, то можна записати рівняння:

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{0,40 - {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}} \cdot ({}_i\delta_{Xx} - {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}) - \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{({}_i\mathcal{X}_{Xx} - 1)^2}{{}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}^2} \right] \right\}^2 = (\Delta\delta)_{min}^2 . \tag{17}$$

Етапи розрахунку величин ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$ згідно з (17) полягають у такому. За використання виміряних значень ${}_i\delta_{Xx}$ для фіксованого значення ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$ визначається сума квадратів відхилень відносної похибки від апроксимуючої функції Гауса. Початкову величину ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ раціонально вибирати як зменшене на 0,0001 мінімальне значення ${}_i\hat{\delta}_{Xx} = ({}_i\delta_{Xx} - {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}) / (0,40 - {}_{on}\tilde{\delta}_{Xx})$. В подальшому, проводячи варіацію ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$ встановлюються діапазони їх змін, в яких сума квадратів відхилень буде наближатись до мінімуму. Послідовною підстановкою зазначених величин із зменшеним кроком дискретності, який обумовлено необхідною точністю, визначаються кінцеві значення ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$. За такої процедури ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Xx}$ виступає в якості своєрідно обрахованого усереднення по параметрам ${}_{on}^i\sigma_{Xx}$, а величина ${}_{on}\tilde{\delta}_{Xx}$ служить межею, до якої наближається апроксимуюча функція із зростанням ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$.

Величина коефіцієнту ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ як функції ${}_i\mathcal{X}_{Xx}$ визначається за використання встановлених згідно рівнянь (15), (16) і (17) величин. Його значення можна встановити, якщо представити зазначений коефіцієнт у вигляді комбінації постійної та змінної складової. Припустимо що в точці ${}_i\mathcal{X}_{Xx} = 1,0$ коефіцієнт ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ дорівнює 1,2. Тоді рівняння для розрахунку ${}^mZ({}_i\mathcal{X}_{Xx})$ буде таким:

$${}^mZ({}_i\chi_{Xx}) = 1,0 + 0,2 \cdot \left\{ \frac{{}_{он}\tilde{\delta}_{Xx} - {}_{ов}\tilde{\delta}_{Xx}}{0,40 - {}_{ов}\tilde{\delta}_{Xx}} + \frac{0,40 - {}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}}{0,40 - {}_{ов}\tilde{\delta}_{Xx}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{({}_i\chi_{Xx} - 1)^2}{{}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}^2} \right] \right\}. \quad (18)$$

Значимо наступне. Рівняння (18) фіксує початкове значення ${}^mZ({}_i\chi_{Xx})=1,2$. У випадку коли за умовами випробування необхідна його зміна, то тоді множник 0,2 слід замінити на заздалегідь визначену величину. Її можна розрахувати як ${}^mZ({}_i\chi_{Xx}) - 1$. При встановленні ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ згідно (16) і (17) слід розрізнити два випадки. Перший, це коли вимірне середнє значення активності \bar{A}_{Xx} є більшим за $1,25 \cdot {}^m A_{Xx}$, а другий – коли воно не перевищує його. Значення ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ в першому випадку доцільно визначати за сукупністю усіх N вимірювань. Зауважимо, що зазначені величини одночасно виступають і в якості параметрів варіації. Аналогічно можна встановлювати і значення величин ${}_{ов}\tilde{\delta}_{Xx}$ та ${}_{ов}\tilde{\sigma}_{Xx}$.

Розглянемо випадок виконання умови щодо середнього значення, а саме $0 \leq \bar{A}_{Xx} \leq 1,25 \cdot {}^m A_{Xx}$. Тоді параметр ${}_i\chi_{Xx}$ вибирається наближеним до 1,0. Останнє застосовується для уникнення нульового значення у знаменнику рівняння (14). Рационально вибирати ${}_i\chi_{Xx} = 1,0001$. З серії вимірювань тоді слід використовувати лише один набір даних, який відповідає тривалому часу вимірювання. За цих обставин, при $({}_1\omega_{Xx} / {}_1\chi_{Xx}) \leq 0,4$ та $N = 1$, величина ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ для вимірних значень ${}_1\chi_{Xx}$, ${}_1\omega_{Xx}$, ${}^m A_{Xx}$ відповідатиме результату, який згідно з рівнянням (11) при заміні ${}_{он}\delta_{Xx}$ на ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$ можна встановити згідно співвідношення:

$$[-({}_1\chi_{Xx} - 1)^2 / 2 \cdot ({}_{он}^1\sigma_{Xx}^2)] = \ln [({}_{н}\delta(\chi_{Xx}(t_1)) - {}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}) / (0,40 - {}_{он}\tilde{\delta}_{Xx})]. \quad (19)$$

Розглянемо випадок, за якого $\bar{A}_{Xx} \leq 1,25 \cdot {}^m A_{Xx}$, а $({}_1\omega_{Xx} / {}_1\chi_{Xx}) > 0,40$. Обчислення ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ методом мінімізації відхилення за варіації значень параметрів ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$ і ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ тоді визначатиме ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ як величину наближену до нуля. Її мінімальне значення також доцільно зафіксувати на рівні добавки до значення ${}_i\chi_{Xx} = 1,0$, тобто послідовний перебір значень величини ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ рационально починати з ${}_{овн}\tilde{\sigma}_{Xx} = 0,0001$. Початкове значення ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$ при цьому допустимо обрати як $0,999 \cdot ({}_1\omega_{Xx} / {}_1\chi_{Xx})$.

Показник відповідності $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}({}_i\chi_{Xx})$, значення якого обраховується за даними серії вимірювань, можна розрахувати, якщо визначити нові значення параметрів ${}_i\omega_{Xx}$ з (14). Їх можна розрахувати через значення функції апроксимації для вимірних даних, зберігши при цьому величин ${}_i\chi_{Xx}$. Позначимо нові значення через ${}_i\tilde{\omega}_{Xx}$. З урахуванням визначення множника β_{Xx} в (15) та величин ${}_{н}\tilde{\delta}_{Xx}({}_i\chi_{Xx})$ згідно (16), розрахункове значення ${}_i\tilde{\omega}_{Xx}$ встановлюється згідно рівняння ${}_i\tilde{\omega}_{Xx} = {}_{н}\tilde{\delta}_{Xx}({}_i\chi_{Xx}) \cdot {}_i\chi_{Xx}$.

Виходячи з представлених вище результатів, з урахуванням співвідношень (12), (13), (14), (16) і (18), можна записати аналітичний вираз узагальненого критерію належності випробовуваного зразка поверхневої води до відповідної категорії забрудненості. Вираз нерівності критерію є наступним:

$$\tilde{\Pi}_{\text{вон}}({}_i\chi_{Xx}) = \frac{{}^{Xx}K_{Kon}}{U_{Xx}} \cdot \{ {}^mZ({}_i\chi_{Xx}) \cdot {}_i\chi_{Xx} \cdot {}^m A_{Xx} \cdot [1 + Z(P_k, P)] \cdot \left(\frac{{}_i\tilde{\omega}_{Xx} - 0,40}{{}_i\chi_{Xx} - 1} - \frac{{}_i\tilde{\omega}_{Xx} - 0,40 \cdot {}_i\chi_{Xx}}{({}_i\chi_{Xx} - 1) \cdot {}_i\chi_{Xx}} \right) \} \leq 1,0. \quad (20)$$

Співвідношення (20) є універсальним. Воно поєднує випадки, які стосуються знаходження величини $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}({}_i\chi_{Xx})$ за нерівностями (12) та (13). Вихідними для розрахунків служать виміряні параметри ${}_i\chi_{Xx}$, ${}_i\omega_{Xx}$, ${}^m A_{Xx}$. В такій же якості виступають і попередньо встановлені величини ${}_{ов}\tilde{\delta}_{Xx}$, ${}_{он}\tilde{\delta}_{Xx}$, ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Xx}$ та число вимірювань N . Інформація про них є необхідною для розрахунку коефіцієнту ${}^mZ({}_i\chi_{Xx})$ при різних ${}_i\chi_{Xx}$ та інших величини з рівнянь (16) і (17). Технологічними

параметрами служать маса зразка, час t_i та значення $^{Xx}K_{Kon}$ і U_{Xx} , які в процесі випробування можуть змінюватись.

Застосування співвідношень і алгоритму для визначення показника $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ проілюструємо на прикладі первинних даних вимірювання, графіки яких представлені на рис.. Використаємо дані зразків №2 та №4. Така ілюстрація базується на можливості виділенні у співвідношеннях (12), (13) та (20) множника, який включає коефіцієнт $^{Xx}K_{Kon}$ та величину ДР U_{Xx} . Технологічні параметри МВВ, як то об'єм води та маса зразка для аналізу визначені такими, які, зазвичай, відповідають дослідженням природних джерел забезпечення населення питною водою. Зазначені зразки мають різну активність. Її середнє значення для зразка №4 наближено до величини 5,7, а для зразка №2 – до 10,1 Бк. Значення первинних та вторинних розрахункових параметрів у випадку зразка №4 представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Значення у відносних одиницях для зразка № 4 вихідних і вторинних розрахункових параметрів, коефіцієнтів ${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$, ${}^{Cs}K_{Kon}$ та показників $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Cs})$ і $\Pi_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Cs})$ за різних $i\mathcal{X}_{Cs}$

Вихідні та вторинні параметри					Коефіцієнти та показники		
${}_{\text{ов}}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,2024$; ${}_{\text{он}}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,3034$; ${}_{\text{он}}\tilde{\sigma}_{Cs} = 0,6166$; $N = 6$; ${}^{Cs}K_{Kon} = 0,0020$; $U_{Cs} = 5,550$ Бк/дм ³					${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$	$\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Cs})$	$\Pi_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Cs})$
$i\mathcal{X}_{Cs}$	$i\omega_{Cs}$	${}^m_iA_{Cs}$, Бк/дм ³	$i\delta(i\mathcal{X}_{Cs})$	$i\tilde{\delta}(i\mathcal{X}_{Cs})$			
1,80425	0,62186	533,75	0,34186	0,344662	1,14399	0,56257	0,49058
2,40539	0,74710	371,25	0,31566	0,310593	1,10951	0,49122	0,44471
2,91333	0,88619	300,00	0,30527	0,304184	1,10302	0,47527	0,43129
3,23478	0,98187	258,75	0,30346	0,303536	1,10236	0,45462	0,41237
3,58486	1,08769	231,25	0,30056	0,303411	1,10224	0,45017	0,40738
3,79524	1,15149	210,00	0,30182	0,303403	1,10223	0,43279	0,39210

Наведені в табл. 2 результати відображують реальність того, що дослідженому зразку можливо поставити у відповідність зразок поверхневої води з активністю РН Cs-137 еквівалентною розглянутій. Дані свідчать про очікуване зменшення коефіцієнту ${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$ із зростанням $i\mathcal{X}_{Cs}$. Однак зменшення від величини 1,2 не досягає значення 1,0. Це пояснюється значною відносною похибкою вимірювання в дослідженому діапазоні активності, яка для $i\mathcal{X}_{Cs}$ більших за 3,0 не опускається менше ніж 0,3. В той же час, в діапазоні зміни $i\mathcal{X}_{Cs}$ від 1,0 до 2,0, значення ${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$ є більшими і зменшуються від 1,2 до, орієнтовно, 1,12. Із зростанням $i\mathcal{X}_{Cs}$ значення ${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$ наближається до 1,10. Інформація з табл. 2 щодо результатів розрахунку показників $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ і за рівнянням (12) $\Pi_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ отримана за значення ДР $U_{Cs} = 5,55$ Бк/дм³. ДР вибрано як найменшій, за якого нерівність (20) може бути виконана. Згідно класифікації екологічного стану поверхневої води [8] таке значення ДР відповідає помірно забрудненим водам, які відносяться до 5 категорії забрудненості.

Представлені в табл. 2 дані свідчать також про зменшення значення розрахованих показників $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ і $\Pi_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ по мірі зростанням величини $i\mathcal{X}_{Cs}$. Так, наприклад, показник $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$, величина якого для $i\mathcal{X}_{Cs} = 1,80425$ становить 0,56257, зменшується до 0,45462 при зростанні $i\mathcal{X}_{Cs}$ до 3,23478. Відповідно показник $\Pi_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$ для цих же значень $i\mathcal{X}_{Cs}$ зменшиться з 0,49058 до 0,41237. Таке зменшення є наслідком, як впливу коефіцієнту запасу ${}^mZ(i\mathcal{X}_{Cs})$ на величину показника $\tilde{\Pi}_{\text{вон}}(i\mathcal{X}_{Xx})$, так і впливу величини похибки вимірювання. Нагадаємо, що значення останньої розраховується за рівнянням (14) при використанні величин $i\tilde{\omega}_{Xx}$. Твердження базується на розрахунках, які проведені з даними вимірювання лічильного зразка № 2. Алгоритм їх проведення є аналогічним застосованому вище. При цьому встановлено нові значення величин

${}_{oe}\tilde{\delta}_{Cs}$ та ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Cs}$, а також збережено технологічні параметри МВВ і величину ДР $U_{Cs} = 5,55$ Бк/дм³. Результати розрахунку представлені в табл 3.

За наведеними у табл. 3 даними із зростанням ${}_i\chi_{Cs}$ значення коефіцієнту ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ все більше наближається до 1,0. В порівнянні з даними табл. 2 зменшення величин відносної похибки ${}_i\delta({}_i\chi_{Cs})$ приводить до зменшення коефіцієнту ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ у всьому діапазоні зростання ${}_i\chi_{Cs}$. Так у порівнянні із зразком №4, коли за ${}_{oe}\tilde{\sigma}_{Cs} = 0,6166$ для ${}_i\chi_{Cs} = 2,91333$ значення ${}^mZ({}_i\chi_{Cs}) = 1,10302$, у випадку зразка №2, для якого ${}_{oe}\tilde{\sigma}_{Cs} = 0,5143$, у випадку близького по значенню ${}_i\chi_{Cs} = 2,85522$ коефіцієнт ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ становитиме 1,01101. Це свідчить про чутливість величини ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ до зміни похибки вимірювання в діапазоні значень ${}_i\chi_{Cs}$ поблизу межі вимірювання. Збільшення точності вимірювання призводить до зменшення необхідності врахування впливу коефіцієнта ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ на величину показника відповідності.

Таблиця 3

Значення у відносних одиницях для зразка № 2 вихідних і вторинних розрахункових параметрів, коефіцієнтів ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$, ${}^{Cs}K_{Kon}$ та показників $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ і $\Pi_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ за різних ${}_i\chi_{Cs}$

Вихідні та вторинні параметри					Коефіцієнти та показники		
${}_{oe}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,2024$; ${}_{on}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,2130$; ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Cs} = 0,5143$; $N = 6$; ${}^{Cs}K_{Kon} = 0,0020$; $U_{Cs} = 5,550$ Бк/дм ³					${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$	$\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$	$\Pi_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$
${}_i\chi_{Cs}$	${}_i\omega_{Cs}$	${}_i^m A_{Cs}$, Бк/дм ³	${}_i\delta({}_i\chi_{Cs})$	${}_i\tilde{\delta}({}_i\chi_{Cs})$			
1,78923	0,48410	533,75	0,27056	0,27061	1,06904	0,48600	0,45681
2,85522	0,63766	371,25	0,22333	0,21327	1,01101	0,48585	0,48520
3,46667	0,74357	300,00	0,21449	0,21301	1,01073	0,47643	0,47204
4,00000	0,83821	257,50	0,20955	0,21300	1,01073	0,47184	0,46528
4,41081	0,91641	231,25	0,20776	0,21300	1,01073	0,46726	0,45997
4,60952	0,97362	210,00	0,21122	0,21300	1,01073	0,44344	0,43798

Співставлення даних табл. 2 і табл. 3 показує, що значення показника $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ у випадку дослідження зразка з меншою активністю перевищують аналогічні значення, отримані для зразка більшої активності. Це є результатом досягнення в процесі випробування за використаної геометрії спектрометричного вимірювання близьких до мінімальних значень відносної похибки вимірювання активності РН Cs-137. Значення показника $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ додатково збільшується і через величину коефіцієнта ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$. Вони також перевищують значення показника $\Pi_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$, які розраховані за співвідношенням (12). Хоча таке перевищення є незначним, але воно означає, що рівність правої та лівої частини у (20) може бути досягнута за менших значень активності РН Cs-137 у поверхневій воді, аніж у випадку розрахунку показника $\Pi_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$. Останній висновок щодо показника $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ за використання представлених алгоритму та співвідношень може розглядатись як додаткова гарантія належності досліджуваної води до відповідно встановлених класу чистоти та категорії забрудненості.

Висновки. Наведений та обговорений вище матеріал служить підґрунтям для формулювання наступних положень, які резюмують результати: представленого дослідження:

1. Проведено аналіз задачі співставлення показників радіаційної дії забрудненої РН ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr поверхневої води та ДР їх активності. Застосовано новий підхід до визначення показника відповідності $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$, в якому оцінюється наявність та враховується величина ДР ¹³⁷Cs або ⁹⁰Sr. В основі підходу лежить припущення про залежність показника $\tilde{\Pi}_{\text{вдн}}({}_i\chi_{Cs})$ від параметру відхилення ${}_i\chi_{Cs}$. Параметр визначено в долях МВПА. Складовою частиною показника відповідності є коефіцієнт запасу ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$, який також визначено як функцію ${}_i\chi_{Cs}$. Роль коефіцієнта полягає в забезпеченні компенсації неточностей розрахунку МВПА. Підхід

встановлює новий алгоритм та модель розрахунку критерію співставлення, в склад якого включено метрологічні характеристики спектрометра та вимоги МВВ.

2. Отримано рівняння для розрахунку коефіцієнта ${}^mZ(\chi_{Cs})$. У ньому використана модель, за якою опис розподілу відносної похибки вимірювання проводиться нормованою функцією Гауса. Придатність останньої обґрунтована результатами вимірювання активності РН ${}^{137}\text{Cs}$ у модельних лічильних зразках. Застосовується представлення аргументу функції Гауса двома параметрами. Одним з них є параметр відхилення, інший регулює ширину піку розподілу. Для встановлення значення обох параметрів функції використано метод мінімізації квадратів відхилень. Експонента в такому випадку оптимально описує результат експерименту. Встановлено аналітичний вид універсального рівняння для розрахунку показника $\tilde{\Pi}_{\text{одн}}(\chi_{Xx})$. В ньому використовуються дані, як про середнє значення активності, так і про похибку її вимірювання. Застосовано і ряд положень теорії оперативної характеристики випробування. Рівняння поєднує два окремих співвідношення, за якими розрахунок коефіцієнта відповідності щодо РН ${}^{137}\text{Cs}$ або РН ${}^{90}\text{Sr}$, зазвичай, передбачає наявність додаткової інформації про точність вимірювання та прийняття рішення оператором спектрометра про вибір моделі обчислення показника.

3. Наведені для різних величин χ_{Cs} результати щодо значень показника $\tilde{\Pi}_{\text{одн}}(\chi_{Xx})$, коефіцієнта ${}^mZ(\chi_{Cs})$ та інших проміжних параметрів розрахунку показали їх адекватність моделі, яка закладена у алгоритм обрахунку даних спектрометричного вимірювання. Розрахункові величини, які отримані на базі двох досліджених модельних зразків, підтвердили правомірність запропонованого підходу та ефективність алгоритму, в першу чергу для випадку інтервалів відхилень χ_{Cs} , які розташовані поблизу нижньої межі вимірювання активності. Крім того, на основі отриманих при випробуванні даних про активність ${}^{137}\text{Cs}$ або ${}^{90}\text{Sr}$ у зразку поверхневої води забезпечуються можливості та надається гарантія однозначного трактування щодо віднесення води до відповідно визначеної категорії забрудненості.

4. Практична цінність результатів полягає в уніфікації підходів та алгоритмів обчислення показників радіаційної дії РН Cs-137 та Sr-90, які можуть бути наявними у поверхневій воді. Результати також торкаються питань вдосконалення засобів та методів оцінювання її якості. Орієнтація дослідження на питання застосування експериментально визначених величин активності розширює можливості використання засобів спектрометричного контролю. Новий підхід та шляхи вирішення задачі віднесення води із встановленою активністю РН до відповідної категорії забрудненості видаються корисними і у випадку ряду інших показників екологічного стану водних об'єктів. Представлені результати можуть бути корисними при постановці та розгляді задач моніторингу і прогнозування якості води на територіях з фоновим забрудненням гідроекосистем, зокрема природних парків та заповідного фонду.

Література

- 1 Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС : Основні терміни та їх визначення (офіційний переклад). – К. : Консорціум компаній RODECOVERSeau–WRc, 2006. – 244 с.
- 2 Герасимова Е.Б., Герасимов Б.И. Метрологія, стандартизація, сертифікація: Уч.–е посібник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 224 с.
- 3 Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку природно-антропогенних систем Передкарпаття: монографія / Ю.С. Ющенко, О.М. Гончар, В.В. Григорійчук та ін.; за ред. Ю.С. Ющенка. – Чернівці: ЧНУ ім. Юрія Федьковича, 2017. – 472 с.
- 4 Евчук О.П. Екологічна оцінка якості вод річки Ломниця за інтегральним екологічним індексом / О.П. Евчук // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал. Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, №2(16), 2017. – С. 57–60.
- 5 Жежеря В.А. Деякі методичні аспекти при дослідженні співіснуючих форм металів у поверхневих водах у розчиненому стані / В.А. Жежеря, П.М. Линник // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології: монографія. – К.: Ника-Цень, 2019. – С. 184–191.
- 6 Лаврова Т.В. Статистическая оценка данных о гидрохимическом составе и радиоактивном загрязнении поверхностных вод в районе влияния бывшего уранового производства / Т.В. Лаврова, О.В. Войцехович, С.Н. Шумов, С.В. Тодосиенко // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології: монографія. – К.: Ника-Цень, 2019. – С. 261–274.
- 7 Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / [А.В. Грищенко, О.Г. Масенко, Г.А. Вертиченко та ін.]. – Харків: Укр. НДІ ЕП. – 2012. – 37 с.

- 8 Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіук та ін. – К.: 2001. – 48с.
- 9 Методичні рекомендації для ведення спостережень за радіоактивним забрудненням навколишнього середовища / За ред. О.В.Войцеховича, В.В.Канівця. – К.: УкрНДГМІ, 2001.–218 с.
- 10 Мирзоева Н.Ю. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской атомной станции для водоёмов Украины (от водоёма-охладителя ЧАЭС до Чорного моря в период 1986 – 2008 гг. / Н.Ю.Мирзоева // Наукові праці. Техногенна безпека. – Вип.126, Том139,2010. – С. 58–63.
- 11 Процеси формування хімічного складу поверхневих вод: монографія / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, П.М. Линник та ін. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 240 с.
- 12 Радкевич М.Я. Метрология, стандартизація и сертификация: Учеб. для вузов / М.Я. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов, 2-е изд., доп. – М.: Высш. Шк., 2006. – 800 с.
- 13 Раздел III. Оценка экологического состояния речных водных объектов / Управление трансграничным бассейном Днестра: суббассейн реки Припяти: монография // под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича и С.А. Афанасьева. – К.: Кафедра, 2012. – С. 146–341.
- 14 Сінченко В.Г. Спектрометричне визначення вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневих прісних водах суші в контексті оцінки їх якості за екологічними критеріями / В.Г. Сінченко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал. Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, №1(21), 2020. – С. 57–69.
- 15 Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я. Обработка результатов технических измерений: Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 72 с.
- 16 Gudkov D., Shevtsova N., Pomortseva N., Dzyubenko E., Yavnyuk A., Kaglyan A., Nazarov A. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. Genetics, Evolution and Radiation. V. Korogodina, S. Mothersill, S. Inge-Vechtomov, C. Seymour (Eds.). Cham: Springer International Publishing AG. 2016. P. 287–302.
- 17 Volkova Ye. N., Beliayev V. V., Pryshliak S. P. Several Aspects of Forming of the Absorbed Dose of Emerged Aquatic Plants. Hydrobiological Journal. 2017. V. 53, Iss. 6. P. 68–76.

V. Sinchenko

L. I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise)

SPECTROMETRY OF RADIONUCLIDES Cs-137 AND Sr-90 IN SURFACE FRESH WATERS AND CONFORMITY OF THEIR ACTIVITY TO PERMISSIBLE LEVELS

The comparison of the radiation effect rates of the surface water polluted with radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr and permissible levels (PL) of their activity is considered. A new approach to calculating the compliance index (CI), assessing the content of ^{137}Cs or ^{90}Sr in water, is proposed. The approach is based on the assumption of the CI dependence on the relative value of the deviation parameter. This parameter is determined in fractions of the minimum measured specific activity (MMSA) by the spectrometer. The influence of storage coefficient on the CI, which compensates for the inaccuracies in the MMSA calculation, is investigated. The algorithm for defining the stock coefficient as a function of the deviation parameter is proposed. The algorithm is based on the data from a series of measurements of a load.

The equation for calculating the storage coefficient is presented. It uses a model to describe the distribution of the relative measurement error of the normalized Gaussian function. The suitability of the latter is justified by the results of measuring the activity of ^{137}Cs . The representation of the Gaussian function argument by two parameters is applied. One is the deviation parameter, the other one adjusts the width of the distribution peak. The method of squared deviation minimization is used to define both parameters of the Gaussian function. According to the obtained values, the exponent optimally describes the experiment result. The universal equation for calculating the CI is established. A number of provisions of the theory of operational characteristics of the test are applied. The equation combines two separate relations, according to which the relation between CI and ^{137}Cs or ^{90}Sr can be calculated in the problem of the radioactive surface-water quality analysis.

The calculations results of CI, storage coefficient and other parameters are presented. Measurement data of ^{137}Cs activity in two model samples-analogues of the possible loads of surface water were used. The efficiency of the algorithm used for calculating the deviation intervals near the lower limit of measuring the activity of radionuclides is proved. The results correspond to the physical preconditions that are embedded in the spectrometric data processing model. The proposed ratios are efficient in determining the cleanliness class and water contamination rate in the process of interpreting the test

results.

Key words: contamination rate; ecological status criteria; radiation effect rates; spectrometry of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr ; surface fresh water.

References

- 1 1 Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/IeC : Osnovni terminy ta yikh vyznachennia (ofitsiinyi pereklad). – K. : Konsortsium kompanii RODECOVERSeau–WRc, 2006. – 244 s.
- 2 Gerasimova E.B., Gerasimov B.I. Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya: Uch.–e posobie. – M.: FORUM: INFRA-M, 2010. – 224 s.
- 3 Hidroekologichne obgruntuvannia bezpechnoho ta zbalansovanoho rozvytku pryrodno-antropohennykh system Peredkarpattia: monohrafiia / Yu.S. Yushchenko, O.M. Honchar, V.V. Hryhoriichuk ta in.; za red. Yu.S. Yushchenka. – Chernivtsi: ChNU im. Yu. Fedkovycha, 2017. – 472 s.
- 4 Evchuk O.P. Ekologichna otsinka yakosti vod rychky Lomnytsia za intehralnym ekologichnym indeksom / O.P. Evchuk // Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo IFNTUNH, №2(16), 2017. – S. 57–60.
- 5 Zhezheria V.A. Deiaki metodychni aspekty pry doslidzhenni spivisnuiuchykh form metaliv u poverkhnevnykh vodakh u rozchynenomui stani / V.A. Zhezheria. P.M. Lynnyk// Проблемы гидрологии, гидрохимии, гидроэкологии: монографы. – K.: Nyka-Tsen, 2019. – S. 184–191.
- 6 Lavrova T.V. Statisticheskaya otsenka dannykh o gidrokhimicheskoi sostave i radioaktivnom zagryaznenii poverkhnosnykh vod v rayone vliyaniya byvshogo uranovogo proizvodstva / T.V. Lavrova, O.V. Voytsekhovich, S.N. Shumov, S.V. Todosienco // Problemy gidrologii, gidrokhimii, gidroekologii: monografiia. – K.: Nika-Tsen, 2019. – S. 261–274.
- 7 Metodyka ekologichnoi otsinky yakosti poverkhnevnykh vod za vidpovidnymy katehoriiami / [A.V. Hryshchenko, O.H. Masenko, H.A. Vertychenko ta in.]. – Kharkiv: Ukr. NDI EP. – 2012. – 37 s.
- 8 Metodyka vstanovlennia i vykorystannia ekologichnykh normatyviv yakosti poverkhnevnykh vod sushi ta estuariiv Ukrainy / V.D. Romanenko, V.M. Zhukynskiy, O.P. Oksiuk ta in. – K.: 2001. – 48s.
- 9 Metodychni rekomendatsii dlia vedennia sposterezhen za radioaktyvnym zabrudnenniam navkolyshnoho seredovyscha / Za red. O.V. Voitsekhovycha, V.V. Kanivtsia. – K.: Ukr NDHMI, 2001.– 218 s.
- 10 Mirzoeva N.Yu. Radioekologicheskie posledstviya avarii na Chernobyl'skoy atomnoy stantsii dlya vodoyomov Ukrainy (ot vodoyoma-ohladytelya ChAES do Chornogo morya v period 1986 – 2008 gg. / N.Yu. Mirzoeva // Naukovi pratsi. Tehnogenna bezpeka. – Vyp. 126, Tom 139, 2010. – S. 58–63.
- 11 Protsey formuvannia khimichnoho skladu poverkhnevnykh vod: monohrafiia / V.I. Osadchii, B.I. Nabyvanets, P.M. Lynnyk ta in. – K.: Nika-Tsentr, 2013. – 240 s.
- 12 Radkevich M.Ya. Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya: Ucheb. dlya vuzov / M.Ya. Radkevich, A.G. Shirtladze, B.I. Laktionov, 2-e izd., dop. – M.: Vyssh. Shk., 2006. – 800 s.
- 13 Razdel III. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya rechnykh vodnykh ob'ektov / Upravlenie transgranichnyim basseynom Dnepra: subbasseyn reki Prip'yati: monografiya // pod red. A.G. Obodovskogo, A.P. Stankevicha i S.A. Afanaseva. – K.: Kafedra, 2012. – S. 146–341.
- 14 Sinchenko V.H. Spektrometrychne vyznachennia vmistu ^{137}Cs i ^{90}Sr u poverkhnevnykh prisnykh vodakh sushi v konteksti otsinky yikh yakosti za ekologichnymy kryteriiamy / V.H. Sinchenko // Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo IFNTUNH, №1(21), 2020. – S. 57–69.
- 15 Tkalic V.L., Labkovskaya R.Ya. Obrabotka rezultatov tehnikeskikh izmereniy: Uchebnoe posobie. – SPb: SPbGU ITMO, 2011. – 72 s.
- 16 Gudkov D., Shevtsova N., Pomortseva N., Dzyubenko E., Yavnyuk A., Kaglyan A., Nazarov A. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. Genetics, Evolution and Radiation. V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtsov, C. Seymour (Eds.). Cham: Springer International Publishing AG. 2016. P. 287–302.
- 17 Volkova Ye. N., Beliayev V. V., Pryshliak S. P. Several Aspects of Forming of the Absorbed Dose of Emerged Aquatic Plants. Hydrobiological Journal. 2017. V. 53, Iss. 6. P. 68–76.

Л. М. Архипова, Я. О. Адаменко
Івано-Франківській національний
технічний університет нафти і газу

ЕКОРЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТУРИСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ У РАХІВСЬКОМУ РАЙОНІ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Прогноз наслідків для навколишнього середовища впровадження проектів розвитку туристичних комплексів в межах Карпатського регіону на Україні, а також екоресурсне забезпечення проектування крупних готельно-туристичних комплексів є надзвичайно актуальним та потребує науково-методологічного підґрунтя. Основна мета виконаних досліджень – це розгляд доцільності проектованої діяльності з точки зору екоресурсного забезпечення водопостачанням та водовідведенням крупного проекту (понад 10 тис. відпочиваючих) готельно-туристичного комплексу за умови дотримання вимог екологічної безпеки із використанням авторських науково-методологічних підходів до оцінки кількісних і якісних показників природно-техногенної безпеки гідроекосистеми р. Чорна Тиса. Результати досліджень представлені з позицій пріоритету екологічних чинників у взаємозв'язку з економічними і соціальними. В роботі представлені авторські розрахунки основних кількісних характеристик природно-техногенної безпеки моніторингових створів поверхневих гідроекосистем Карпатського регіону досліджуваної території. Запропоновані наукові підходи до визначення частини гідроресурсів, яка може бути використана проектованим туристичним комплексом за умов збереження екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику. Теоретично визначена складова кількісного потенціалу гідроекосистем досліджуваної території, яка може бути використана з метою водопостачання; на величину потенціалу розрахована максимально можлива величина скиду стічних вод, як резерв для самоочищення, та акумуляції у водозбірних басейнах. Авторами був проведений аналіз отриманих даних середніх, максимальних і мінімальних концентрацій хімічних речовин в створі р. Чорна Тиса 1,0 км вище смт Ясіня та середніх, максимальних і мінімальних концентрацій хімічних речовин в створі р. Чорна Тиса 1,5 км нижче смт Ясіня за період 2014-2019 рр., виконаних Закарпатським обласним центром з гідрометеорології ДСНС України в сертифікованій лабораторії. Запропоновано місце розташування очисних споруд проектового туристичного комплексу.

Ключові слова: туристичний комплекс, екоресурсне забезпечення, гідроекологічний потенціал, гідроекосистема, якість водних ресурсів.

Постановка проблеми. Прогноз наслідків для навколишнього середовища впровадження проектів розвитку туристичних комплексів в межах Карпатського регіону на Україні є актуальними [1]. Основна мета – це розгляд доцільності проектованої діяльності та розробка заходів по нормалізації стану навколишнього середовища відповідно до вимог екологічної безпеки. Результати досліджень представлені з позицій пріоритету екологічних чинників у взаємозв'язку з економічними і соціальними [2]. Досліджуваний район поблизу смт Ясеня Закарпатської області розташований на південно-західному схилі Карпатських гір [3]. Перспективне розширення туристичного комплексу «Буковель» на цей район або будівництво нового туристичного комплексу поставить проблему екоресурсного забезпечення [4]. В першу чергу потребує оцінки можливості водопостачання, очистки стічних вод побутового характеру та відведення стоків для території планованого туристичного комплексу [5].

Аналіз досліджень і публікацій. Головною проблемою перспективних туристичних комплексів стане водозабезпечення оскільки підземні води залягають дуже глибоко і потужних добре витриманих горизонтів підземних вод тут практично немає [6]. Гідрогеологічні особливості цього району такі, що тут залягають в основному води у тріщинуватих колекторах [7]. Запаси цих вод – не встановлені, тому необхідно провести детальні інженерно-гідрогеологічні роботи по вишукуванню та встановленню запасів підземних вод [8].

Мета роботи. Основна мета виконаних досліджень – це розгляд доцільності проектованої діяльності з точки зору екоресурсного забезпечення водопостачанням та водовідведенням крупного проекту (понад 10 тис. відпочиваючих) готельно-туристичного комплексу за умови дотримання вимог екологічної безпеки із використанням авторських науково-методологічних

підходів до оцінки кількісних і якісних показників природно-техногенної безпеки гідрроекосистеми р. Чорна Тиса.

Викладення основного матеріалу. Територія розташування перспективного туристичного комплексу в Рахівському районі знаходиться в самому обводненому районі Карпат з найвищими модулями річкового стоку як в середній за водністю рік (до 30 л/с км²), так і в мінімальний за водністю рік у порівнянні з іншими гірськими районами Українських Карпат.

На кожне ліжко-місце слід розраховувати від 120 до 300 л чистої води для водопостачання за добу [9] (по ДБН.В.2.5-64:2012 залежно від зірок готелю). Для 18000 ліжко-місць при повному завантаженні об'єм водоспоживання складе 2500-5800 м³ за добу.

У гірських населених пунктах Ясіня (9200 жителів) та Чорна Тиса (3000 жителів) відсутня централізована система водозабору.

Планований максимальний об'єм водопостачання 5800 м³/добу, що дорівнює 0,067 м³/с. Для забезпечення потреб засніження схилів необхідно до 1 млн.м³ акумулятивних вод.

Ресурси питних підземних вод в досліджуваному районі незначні і складають 50-100 м³/добу [10]. У зв'язку з цим перспективними для централізованого забезпечення якісною водою планованого туристичного комплексу є гірські потічки на залісених ділянках за межами населених пунктів. Водозабори загальною потужністю 0,1 м³/с обраного в робочому проекті типу пропонується спорудити за рахунок ресурсів річок та струмків, які відповідають показникам придатності для питного та технічного водопостачання.

В межах планованого розташування курорту знаходиться гідрологічний пост р. Чорна Тиса – смт Ясіня, на якому вимірюються рівні води річки. Найближчим гідрологічним постом, на якому вимірюються витрати води є р. Чорна Тиса – м. Рахів Для порівняння та обґрунтування розрахунків нижче в таблицях наведено дані на даний час закритого поста: р. Чорна Тиса – с. Білин. Період спостережень на складає від 40 до 70 років, тому вихідні значення норми річного стоку є стійкими з відносними середньоквадратичними похибками не більше $\pm 4,5\%$. Авторські розрахунки основних кількісних характеристик природно-техногенної безпеки моніторингових створів поверхневих гідроекосистем Карпатського регіону досліджуваної території представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні кількісні характеристики природно-техногенної безпеки моніторингових створів поверхневих гідроекосистем Карпатського регіону

Ріка – пункт спостережень моніторингової мережі Гідрометеослужби України	Площа водозбору, км ²	Висота створу, м, абс	Норма стоку, м ³ /с	Норма стоку, л/с·км ²	Нульовий потенціал, м ³ /с	Нульовий потенціал, л/с·км ²	Мінімальний стік, м ³ /с	Максимальний стік, м ³ /с	Середній з max, м ³ /с	Середній з max, л/с·км ²	Кількісний потенціал, л/с·км ²	Процент зміни норми 1990-2020 рр.
р. Чорна Тиса – смт Ясіня	194	650	4,882	25,16	3,78	19,5	2,81	204	124	639	5,66	+6,16
Чорна Тиса – с. Білин	540	490	13,2	24,44	7,99	14,8	5,52	697	301	55,7	9,64	+7,02
р. Тиса – м. Рахів	1070	432	24,92	23,29	15,8	14,8	4,67	938	489	457	8,49	+2,58

Визначення частини гідроресурсів, яка може бути використана народногосподарським комплексом за умов збереження екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику ґрунтувалось на аналізі внутрішньорічної динаміки стоку. Тобто в числовому вираженні кількісній складовій природно-техногенної безпеки відповідає частка стоку, яка є більшою мінімальної середньомісячної витрати маловодного року. Потенціал може бути використаний з метою водопостачання; на величину потенціалу потрібно розраховувати максимально можливу величину скиду стічних вод, це резерв для самоочищення, цю воду можна акумулювати у водозбірних басейнах і т.д.

Отож, з точки зору екоресурсного забезпечення проектування туристичних комплексів в Карпатському регіоні, при заборі води з рік необхідно з метою екологічної безпеки залишати у незмінному природному стані витрату, яка дорівнює ґрунтовому живленню (в розрахунках за цю

величину було прийнято мінімальну середньомісячну витрату води середнього за водністю року. Розглянемо динаміку річкового стоку для визначення можливостей водопостачання туристичного комплексу. Для визначення кількості води на протязі календарного року виберемо три створи: в гирлах приток р. Чорна Тиса: р. Довжина, р. Станіслав, р. Стебний.

Для визначення кількісної складової стоку в досліджуваних створах були використані кореляційні зв'язки між нормою стоку, яка виражена середньобагаторічним модулем стоку, та середньою висотою водозборів. Враховуючи групування водозборів за ознакою приблизно однакової орієнтації і доступності вологих повітряних мас і за характером рельєфу, виділено 5 районів в Карпатському регіоні, для яких побудовані залежності модуля річкового стоку від середньої висоти водозборів. Досліджувана територія належить до другого району [11].

Залежність модуля стоку від середньої висоти водозбору описується рівнянням:

$$y = a + b \ln x + c x a^2 \ln x, \quad (1)$$

коефіцієнт парної кореляції дорівнює 0,61 ($F_{st}=64,26 > F(0,1\%)=18,64$), що є задовільним для визначення за цією залежністю річного стоку невивчених рік описуваного району, до яких належать досліджувані притоки р. Чорна Тиса.

Для зручності користування цією залежністю в табл. 2 уточнені її координати для різних діапазонів висот. Середня висота водозбору р. Довжина, визначена шляхом планіметрування, складає 900 м. Таким чином, виходячи з залежності, середньобагаторічний модуль стоку ріки складає 30,04 л/с км². Звідси знаходимо норму стоку, тобто середню багаторічну витрату води в гирлі р. Довжина:

$$Q = (40 \times 30,04) / 1000 = 1,2 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Водозбір р. Станіслав складає близько 33 км², середня висота території басейну 720 м, середньобагаторічний модуль стоку ріки складає 26,15 л/с_км²

Водозбір р. Стебний в с. Стебний складає 22 км², середня висота території басейну 800 м, модуль стоку 28,8 л/с км².

Розрахована норма стоку річки Станіслав складатиме:

$$Q = (33 \times 26,15) / 1000 = 0,863 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Норма стоку струмка Стебний складатиме:

$$Q = (22 \times 28,5) / 1000 = 0,627 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Таблиця 2

Залежність середньо багаторічного модуля стоку (л/с км²) від середньої висоти водозбору для досліджуваної території

Середня висота водозбору, м	Модуль стоку, л/с км ²
600	20.16
700	25.09
800	28.50
900	30.04
1000	33.12
1100	34.93
1200	36.55

При розгляді кількісних характеристик стоку важливою складовою є багаторічна динаміка стоку. Чим менше буде змінюватись об'єм води в ріках з року в рік, тим більш стабільною буде робота туристичних комплексів, при інших рівних умовах зросте економічна ефективність. В якості основного показника зміни річкового стоку в часі прийнятий коефіцієнт варіації C_v .

В цілому для рік досліджуваної території характерне незначне коливання річкового стоку. Коефіцієнти варіації досить стійкі по висотних зонах і зменшуються з висотою місцевості. Для того, щоб визначити можливі зміни стоку для невивчених рік, обчислення коефіцієнтів варіації рекомендується проводити по емпіричних формулах. Запропонована формула для досліджуваної території виглядає наступним чином:

$$C_v = \frac{1,238}{M^{0,44} \cdot F^{0,025}}. \quad (2)$$

Перевірка формули показала, що відхилення вирахованих значень від фактичних в більшості випадків не перевищує 10%. В цілому результати перевірки свідчать про те, що запропонована формула для визначення коефіцієнтів варіації невивчених рік досліджуваного регіону може бути

використана для практичних розрахунків. Вирахований для р. Довжина коефіцієнт варіації дорівнює 0,26.

Розрахунок місячних норм стоку та наявність бази даних для пунктів спостережень регіону дозволили отримати параметри кількісної складової внутрішньорічного розподілу стоку для умов середнього, багатоводного і маловодного року вивчених рік і скласти типову таблицю розподілу стоку по сезонах і місяцях для невивчених рік регіону.

Розрахунок типового внутрішньорічного розподілу стоку для приток р. Чорна Тиса представлений в таблиці 3.

Таблиця 3

Типові схеми динаміки стоку рік другого підрайону (у % від річного)

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
Середній по водності рік																
2а	4,36	4,90	7,67	16,6	15,8	10,8	9,32	7,05	5,93	5,33	6,24	5,91	40,1	27,2	17,5	15,2
Маловодний рік																
2а	2,62	4,06	5,10	17,5	17,0	12,7	8,70	9,13	5,93	5,05	7,20	4,98	39,6	30,5	18,2	11,7
Багатоводний рік																
2а	2,21	3,31	3,37	11,2	12,6	15,6	13,2	8,64	5,85	7,74	10,5	5,87	27,2	37,4	24,1	11,4

Аналіз динаміки стоку рік досліджуваної території дозволяє зробити висновок, що лімітуючим періодом при визначенні розрахункового розподілу стоку в роки різної водності є межень (жовтень-лютий). Виділення меженого періоду на ріках Карпатського регіону досить умовно, тому що паводки спостерігаються протягом цілого року, і навіть в дуже маловодні роки для рік характерні високі паводки восени і взимку.

В досліджуваному районі частка дощового живлення дещо зменшується в середньому за багаторіччя порівняно з рештою частиною Карпатського регіону, а це обумовлює дещо більш рівномірний розподіл стоку по сезонах і місяцях. В басейні р. Довжина в типовий середній рік мінімальна кількість води проходить в січні, максимальна в квітні, відповідно стік весняного періоду більший за літній. Максимальна місячна амплітуда коливань стоку становить 12%. Аналіз типового розподілу маловодного року показує, що розподіл стоку по сезонах принципово залишається таким самим як і в середній по водності рік.

Використання наведених типових схем дає можливість для довільного створу в межах розглянутої території розподілити стік року при відсутності матеріалів натурних спостережень. Для цього необхідно визначити об'єм річного стоку або середньорічну витрату води заданої забезпеченості і провести розподіл по місяцях і сезонах у відповідності з відсотковим значенням в типових схемах.

Для р. Довжина (створ 1), р. Станіслав (створ 2) та р. Стебний (створ 3) витрати води в м³/с, розраховані для умов середнього, маловодного та багатоводного років, наведені в табл. 4.

В кількісному вираженні гідроекологічному потенціалу відповідає частка місячного стоку, яка є більшою ніж мінімальна середньомісячна витрата маловодного року. Тобто, гідроекологічний потенціал може бути використаний з метою водопостачання і цю воду можна акумулювати у водозбірних басейнах.

Для збереження екологічної рівноваги у р. Довжина нижче створу №1 – кількість води не повинна зменшуватися в жоден з сезонів року нижче 0,283 м³/с. Така витрата води спостерігається в січні, тобто в цей період повинно бути передбачене альтернативне водопостачання. Вже в лютому використаний гідроекологічний потенціал в повному обсязі дозволяє акумулювати до 2500 м³/добу річкової води (в середній за водністю рік), яка може забезпечувати 7500 відпочиваючих за нормативом 300 л/добу людину. В грудні можливість акумуляції дозволить забезпечити водою більше 10000 туристів.

Аналізуючи кількість річкового стоку в створі №2 (р. Станіслав), необхідно зауважити, що гідро екологічний потенціал в даному місці становить 0,203 м³/с (в маловодності рік). Ця річка в лютому дасть можливість акумулювати 950 м³/добу, що може забезпечити до 3000 відпочиваючих.

Але вже в березні з початком повені кількість води збільшиться до 10 тис. м³/добу, яка буде достатньою для забезпечення 10000 відпочиваючих.

Таблиця 4

Середньомісячні витрати води у створах рік досліджуваної території для умов середнього по водності року, маловодного та багатоводного років

Створ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середній по водності рік												
1	0,628	0,706	1,104	2,390	2,275	1,555	1,342	1,015	0,854	0,768	0,899	0,851
2	0,452	0,507	0,794	1,719	1,636	1,118	0,965	0,730	0,614	0,552	0,646	0,612
3	0,328	0,369	0,577	1,249	1,189	0,812	0,701	0,530	0,446	0,401	0,469	0,445
Маловодний рік												
1	0,283	0,438	0,551	1,89	1,836	1,372	0,94	0,986	0,640	0,545	0,778	0,538
2	0,203	0,315	0,396	1,359	1,320	0,986	0,676	0,709	0,461	0,392	0,559	0,387
3	0,148	0,229	0,288	0,988	0,959	0,717	0,491	0,515	0,335	0,285	0,406	0,281
Багатоводний рік												
1	0,398	0,596	0,607	2,016	2,268	2,808	2,376	1,555	1,053	1,393	1,89	1,057
2	0,286	0,428	0,436	1,449	1,631	2,019	1,709	1,118	0,757	1,002	1,359	0,759
3	0,208	0,311	0,317	1,053	1,185	1,467	1,241	0,812	0,55	0,728	0,988	0,552

Гідроекологічний потенціал в створі №3 становить 0,148 м³/с в середній за водністю рік. Виходячи з меншої кількості води в даному створі, р. Стебна буде найменш придатною для водозабору та забезпечення водою перспективного туристичного комплексу. Вона зможе використовуватись як додаткове джерело для акумуляції стоку, крім лімітуючого сезону.

Основна проблема полягає в нерегулярності річкового стоку, і, як вже зазначалось, період найменших витрат води в річках Карпат припадає на зимовий період – період найщільнішого заповнення туристичного комплексу відпочиваючими. Найбільш доцільним для альтернативного водопостачання є створення невеликих акумулюючих водосховищ для допоміжного водопостачання в зимовий період. Щоправда, міцність греблі в даних створах повинна бути розрахована на можливість пропускати річковий стік, який в 15-20 разів більший за нульовий гідроекологічний потенціал. Побудувавши греблю висотою в 10 м на р. Довжина, утвориться водосховище довжиною 1,2 км, шириною 200 м, об'ємом 960-1200 тис. м³. Таким чином, створене водосховище (за умови скиду через греблю щосекундно кількості води на рівні нульового гідроекологічного потенціалу) зможе забезпечити туристичний комплекс протягом 2-3 місяців. Заповнення водосховища буде відбуватись в середній за водністю рік близько місяця за умов заповнення його восени.

В цілому закономірності внутрішньорічного розподілу стоку рік досліджуваного басейну полягають у наступному:

- в різні за водністю роки виділяється один багатоводний період, який охоплює фазу повені і паводків і триває з квітня по серпень за умов початку підйому рівнів води у березні і закінчення спаду до передвесняних рівнів у вересні. За цей час проходить біля 70% річного стоку;

- лімітуючим сезоном є межень, яка охоплює осінньо-зимовий період. При цьому в більшості випадків місяцем найменшої водності виявляється січень, хоча стійкий щорічний льодостав зовсім не є обов'язковим. За цей сезон проходить в середньому 30% річного стоку;

- в середньому за багаторіччя об'єм весняної повені залишається порівняно однаковим в середні, багатоводні та маловодні роки, а зміна річного об'єму стоку по сезонах залежить від кількості рідких опадів, які і є визначаючими характеристики водності року. Тобто в середньому за багаторіччя запас води в сніговому покриві для басейнів рік досліджуваного району в різні за водністю роки мало чим відрізняється;

- на ріках південно-західного схилу Карпат переважаючи об'єми води утворюються під час весняного водопілля в маловодні та середні за водністю роки. В багатоводні періоди максимальні місячні об'єми води частіше утворюються від випадіння дощів під час паводків.

Отже, за нашими розрахунками, без шкоди для гідроекосистеми, в створі селища Ясіня можна використати 1,1 м³/с. Курорт потребує 0,067 м³/с, що складає 6,1%. За умов лише використання гідроекологічного потенціалу необхідний об'єм води у всіх акумулятивних водосховищах близько 1 млн.м³ можна накопичити за період близько 2-х тижнів (якщо витрата у річках буде дорівнювати середньо багаторічному значенню (для с-ща Ясіня – 4, 882 м³/с).

З метою збереження у водному об'єкті недоторканим нульового кількісного потенціалу природно-техногенної безпеки гідроекосистем рекомендуємо створення декількох невеликих руслових водоймищ (12 шт. по 10 тис. м³) біля фільтрувальних станцій, з яких щодня може використовуватись 5800 м³ накопиченого потенціалу протягом двох тижнів в період мінімальних добових витрат. За умови водоощадливого споживання курорту планованих запасів води може вистачити на місяць мінімального стоку у водному об'єкті.

За нашими розрахунками, гідроекологічний потенціал, на який можна розраховувати скид стічних вод без шкоди для гідроекосистеми, в створі селища Ясиня складає 1,1 м³/с. Максимальна кількість стічних вод, що утворюватиме курорт – 0,0625 м³/с, що складає 5,7%. Тобто можна прогнозувати, що об'єм гідро екологічного потенціалу розбавить стічні води в 17,5 разів до нормативного стану рибогосподарських водойм.

За умов витрати середньо багаторічного значення у р. Чорна Тиса для смт Ясиня – 4,882 м³/с стічні води розбавлятимуться у 78 разів.

Побудова сучасних очисних споруд у планованому готельно-туристичному комплексі потужністю 6000 м³/добу дозволить забезпечити потреби в нормативному очищенні господарсько-побутових стічних вод не тільки курорту, а й населених пунктів Чорна Тиса і Ясиня. Враховуючи, що сучасні очисні споруди здійснюють очистку господарсько-побутових стічних вод на 90-95%, та те, що об'єм скиду нижче с-ща Ясиня складе 1,4 % від середнього об'єму води у водному об'єкті, можна прогнозувати, що на відстані 500 м від місця скиду вода водного об'єкту буде відповідати щонайменше II класу якості (добрий стан), на межі Карпатського біосферного заповідника якість водного об'єкту з врахуванням каналізування населених пунктів Чорна Тиса і Ясиня залишиться в допроектному стані.

Сучасний стан басейну р. Чорна Тиса оцінюється як наближений до природного. Поняття екологічний стан водного об'єкту дуже широко використовується в літературі. Більшість дослідників добрий екологічний стан в основному пов'язують з «непорушністю», або «природним станом» екосистеми. Згідно типізації, прийнятій Водною Рамковою Директивою ЄС, річка Чорна Тиса на даний час є непорушеним водним об'єктом [12].

Для теоретичного розрахунку якісної складової природно-техногенної безпеки гідроекосистеми р. Чорна Тиса застосована функціональна залежність норми комплексного індексу потенціалу якості (КПЯ) Тилянської гідроекосистеми в межах Карпатського регіону з висотою місцевості показала (КПЯ=8,13-39,3/H^{0.5}), що для території проєктованого туристичного комплексу показник якісної складової природно-техногенної безпеки гідроекосистеми знаходиться на рівні КПЯ=6,12, що є оптимальним для стану гідроекосистеми і за класифікацією рівня природно-техногенної безпеки відносить ділянку р. Чорна Тиса до безпечної [13].

Експериментальна первинна оцінка якості води та екологічного стану річки Чорна Тиса проведена за даними польових досліджень Закарпатського обласного управління з гідрометеорології, що наведена в протоколах за результатами виїздів 2018-2019 рр. показала наступне: водні об'єкти досліджуваної території мають перший клас якості води та відмінний екологічний статус (табл. 5).

Авторами був проведений аналіз отриманих даних середніх, максимальних і мінімальних концентрацій хімічних речовин в створі р. Чорна Тиса 1,0 км вище смт Ясиня та середніх, максимальних і мінімальних концентрацій хімічних речовин в створі р. Чорна Тиса 1,5 км нижче смт. Ясиня за період 2014-2019 рр., виконаних Закарпатським обласним центром з гідрометеорології ДСНС України в сертифікованій лабораторії.

Отримані результати (прикладі на рис.1, 2) свідчать про прогнозні тенденції підвищення забруднення поверхневих водних об'єктів [14].

Отримані результати дозволяють стверджувати, що дифузні джерела забруднення є визначальними для басейну ріки Чорна Тиса. Саме неканалізована сільська місцевість є причиною емісії значних об'ємів забруднюючих речовин (органіки та біогенів) у річкові водні тіла, оскільки вони потрапляють у ґрунтові води або поверхневим стоком через неізольовані вигрібні ями, гноївки, господарські будівлі тощо [15]. Крім того, нелімітоване рекреаційне навантаження та самодіяльний туризм створюють проблеми із забрудненням водних об'єктів [16, 17]. У гірських населених пунктах Ясиня (9200 жителів) та Чорна Тиса (3000 жителів) відсутня централізована система каналізування та очистки стічних вод.

Згідно з «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» місце скиду стічних вод розташовується нижче за течією межі населеного пункту. Проблема очистки

стічних вод на планованому туристичному комплексі, слід спланувати у комплексі з системою очистки стічних вод у селі Чорна Тиса і селищі Ясіня, які розташовані нижче за течією р. Чорна Тиса, оскільки лише в такий спосіб можна досягнути «доброго стану» основного водотоку субрайону – р. Чорна Тиса відповідно до Водної Рамкової Директиви ЄС [18, 19].

Таблиця 5

Середня концентрація хімічних речовин в створі р. Чорна Тиса 1,5 км нижче смт Ясіня

Квартал	Кисень, мг O ₂ /дм ³	БСК ₅ , мг O ₂ /дм ³	Сульфати, мг/дм ³	Азот амонійний, мг N/дм ³	Азот нітритний, мг N/дм ³	Залізо загальне, мг/дм ³	Мідь, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³	Хром 6+, мг/дм ³	Феноли, мг/дм ³	АСПАР, мг/дм ³	К-сть, проб
II.2014	10,60	0,60	0,10	3,800	0,300	0,900	0,000	0,000	3,500	0,000	0,00	1
I.2015	13,50	0,60	0,04	1,900	0,100	1,400	4,000	10,00	1,700	0,000	0,05	1
IV.2015	12,80	0,70	0,10	1,300	0,200	2,500	15,000	18,00	8,100	0,000	0,00	2
III.2016	10,60	0,80	0,14	1,000	0,100	2,400	11,000	17,00	0,600	1,000	0,03	3
IV.2016	13,30	0,60	0,13	1,000	0,050	1,200	10,000	12,00	0,000	0,000	0,00	1
II.2017	13,40	0,80	0,13	0,800	0,050	1,600	0,007	0,008	0,000	2,000	0,05	1
IV.2017	12,10	2,53	13,20	0,250	0,002	0,113	0,007	0,010	0,009	0,001	0,013	3
II.2018	12,00	3,10	13,30	0,090	0,003	0,200	0,004	0,005	0,004	0,000	0,00	1
III.2018	11,40	3,00	11,80	0,270	0,001	0,110	0,004	0,005	0,005	0,001	0,00	1
IV.2018	13,35	2,00	9,90	0,670	0,001	0,045	0,006	0,008	0,004	0,001	0,00	2
III.2019	11,23	2,30	21,33	0,213	0,001	0,190	0,005	0,006	0,002	0,000	0,00	3

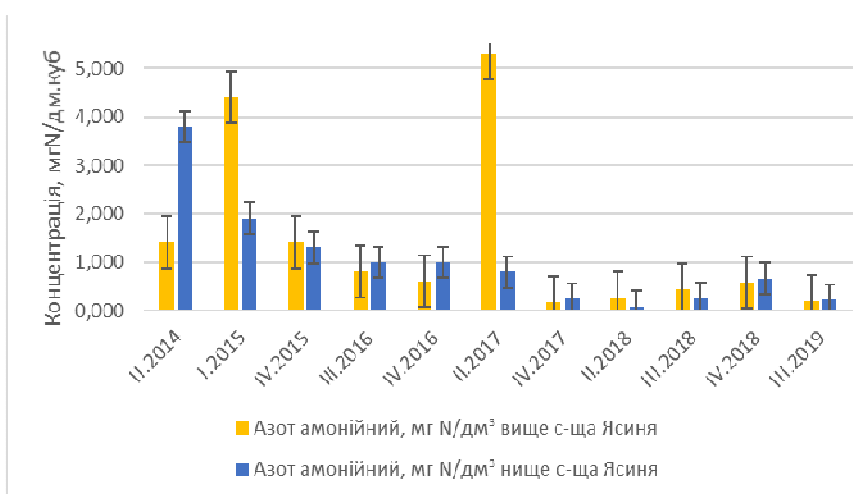


Рис. 1. Динаміка зміни концентрації азота амонійного в р.Чорна Тиса біля смт Ясіня

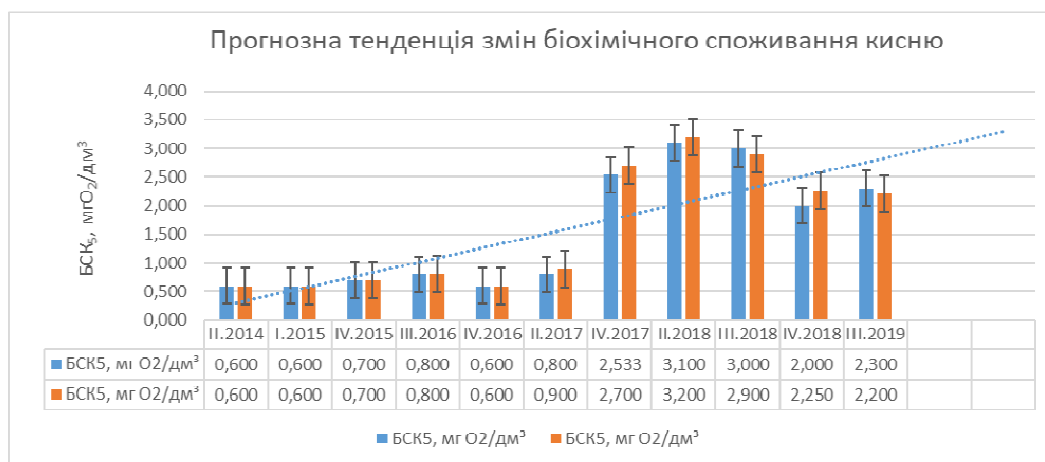


Рис. 2. Прогнозна тенденція змін біохімічного споживання кисню в р.Чорна Тиса (синій – вище смт Ясіня, помаранчевий – нижче)

Найкращий варіант, на нашу думку, розташування очисних споруд за межами населеного пункту Ясиня та не менше ніж за 1500 м від межі Карпатського біосферного заповідника (рис. 3).

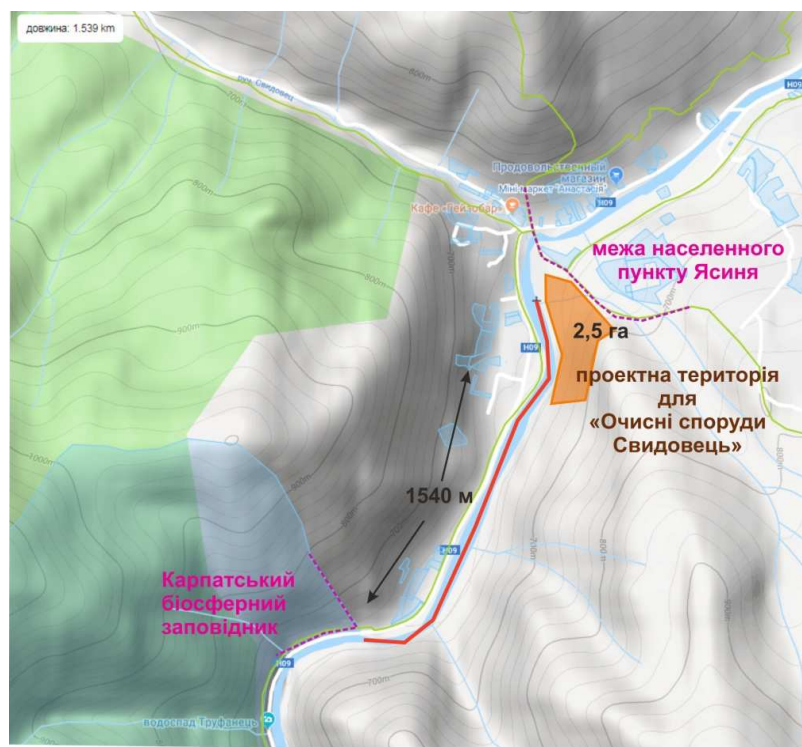


Рис. 3. Пропонована територія для розташування очисних споруд

Висновки. Підводячи підсумок даної статті можна сказати, екоресурсне забезпечення проєктованого туристичного комплексу в Рахівському районі у верхів'ї басейну р.Чорна Тиса реалістично і перспективне в майбутньому. На наш погляд водопостачання туристичного комплексу з рік досліджуваної території, як це було доведено вище, може бути безперебійним за умови відсутності негативного екологічного впливу на водні екосистеми в зв'язку з тим, що кількість водозабору не перевищуватиме 10% найменшої середньомісячної витрати багаторіччя [20]. Основна проблема в цьому випадку – технічна реалізація рішення акумулювання стоку під час лімітуючого сезону. Побудова сучасних очисних споруд у планованому готельно-туристичному комплексі потужністю 6000 м³/добу дозволить забезпечити потреби в нормативному очищенні господарсько-побутових стічних вод не тільки курорту, а й населених пунктів Чорна Тиса і Ясиня. Враховуючи, що сучасні очисні споруди здійснюють очистку господарсько-побутових стічних вод на 90-95%, та те, що об'єм скиду нижче с-ща Ясиня складе 1,4 % від середнього об'єму води у водному об'єкті, можна спрогнозувати, що на відстані 500 м від місця скиду вода водного об'єкту буде відповідати щонайменше II класу якості (добрий стан) [21], на межі Карпатського біосферного заповідника якість водного об'єкту з врахуванням каналізування населених пунктів Чорна Тиса і Ясиня залишиться в допроектному стані.

Література

- 1 Архипова Л.М. Гранична місткість та сталий розвиток рекреаційної зони «Буковель» // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. – №2(10)- Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2014. – С. 93-100.
- 2 Екологічна безпека збалансованого ресурсокористування в Карпатському регіоні: наукова монографія / за ред. професорів – докт. геол.-мін. наук О.М. Адаменка та докт. техн. наук Я.О. Адаменка. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2013. – 368 с.
- 3 Кравчук Я. С., Адаменко О. М., Адаменко Я. О. Геоморфологічний аналіз рельєфу перспективних ділянок Українських Карпат для рекреаційних потреб (на прикладі басейну Чорної Тиси) / Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: збірник наукових праць / Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, Вип. 2 (10). – 2019. – С.18-41 DOI: <http://dx.doi.org/10.309>.
- 4 Передерко В.П. Надмірний туризм у суспільстві споживання. Витоки, еволюція, наслідки // Монографія, 2018. – В-во Ламберт.-148 с.

5 Karpinski M., Pohrebennyk V., Bernatska N., Ganczarzyk J., Shevchenko O. Simulation of artificial neural networks for assessing the ecological state of surface water. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 2018. – SGEM, 18, 2.1, 693-700.

6 Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Коноваленко О.С. Гідроморфологічний стан річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. – Т.4(43) – С.38-51.

7 Адаменко О. М., Адаменко Я. О., Кравчук Я. С. Геологічна будова перспективної для рекреаційно-туристичного освоєння ділянки басейну Чорної Тиси (Українські Карпати) / Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій : збірник наукових праць / Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, Вип. 1 (11). – 2020. – С.85-104 DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2020.1.3202>.

8 Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyu, M., Soloviy, K. Results of Surface Water Quality Monitoring of the Western Bug River Basin in Lviv Region. // Journal of Ecological Engineering, 2020. – 21, 3. – pp. 18-26, <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.

9 Водний кодекс України : офіц. текст із змінами станом на 04 серп. 2016 р. № 1990-III // Відом. Верховної Ради України. – 2001. – № 2/3.

10 Національний план управління басейном р. Тиса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://buvrtysa.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final_ost.pdf.

11 Консевич Л.М. Обґрунтування кореляційного зв'язку річкового стоку з висотою місцевості в Карпатському регіоні // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету. Серія: Географія. – 2004. – №2(7). – С.41-48.

12 Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС : основ. терміни та їх визначення / [підгот.: Алієв К. та ін.]. – Вид. офіц. – К. : [б. в.], 2006. – 240 с.

13 Hryniuk V. I., Arkhupova L. M. Regularity of effects of climatic changes on quality indicators of surface water of the Dniester basin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2018. – 3(165). – pp. 125-133. – DOI: 10.29202/nvngu/2018-3/17.

14 Архипова Л.М. Екологічні аспекти оцінки якості природних вод II –й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2009) // Збірник наукових статей. – Вінниця, 23-26 вересня 2009 року. – Вінниця: ФОП Данилюк, 2009 – 603 с.

15 Korchemlyuk M, Arkhupova L, Kravchynskyi R and Mykhailyuk J. Anthropogenic influence from point and diffuse sources of pollution in the Upper Prut River basin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2019. – 1(169). – pp 125-131.

16 Melnyk A., Chyr N. Modern aspects of research of the natural reserve fund of the transcarpathian region as a core of the development of ecological tourism // Ukr. geogr. z., 2019. – 3. – pp 43-52, <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.043>.

17 Архипова Л.М. Оцінка гідроекологічного потенціалу басейну ріки Свіча в районі розробки нафтогазових родовищ // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 2008. – №2(18). – С.17-20.

18 Екологічний стан водотоків басейну Верхньої Тиси (українсько – румунська ділянка) // За ред. С.О. Афанасьева – Ужгород «УВА», 2010. – 36с.

19 Архипова Л.М. Застосування теорії і методів оцінки гідроекологічної безпеки на передпроектних стадіях будівництва // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ; 2012. – №1(5)- Івано-Франківськ: Симфонія форте – С. 25-29

20 Staško S., Buczyński S. Drought and its effects on spring discharge regimes in Poland and Germany during the 2015 drought // Hydrological Sciences Journal, 2018. – 63. – pp 741-751.

21 Khilchevskiy V. K., Kurylo S. M., Sherstyuk N. P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine // Journal of Geology, Geography and Geocology, 2018. – 27(1). – ss. 68-80.

L. Arkhypova, Ya. Adamenko
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas

ECO-RESOURCE PROVISION OF DESIGNING THE TOURIST COMPLEX IN RAKHIV DISTRICT OF ZAKARPATTIA OBLAST

The prediction of consequences for the environment from the implementation of projects on the development of tourist complexes within the Carpathian region in Ukraine and also the ecoresource provision of designing large hotel and tourist complexes is extremely relevant and needs a scientific and methodological basis. The main purpose of the research is to consider the feasibility of the designed activity in terms of eco-resource supply of a large project (over 10 thousand vacationers) of the hotel and tourist complex with water supply and sewerage subject to compliance with the requirements environmental safety with the use of authors' scientific and methodological approaches to assessing the quantitative and qualitative indicators of the natural and technogenic safety of the hydroecosystem of the Chorna Tysa River. The research results are presented from in terms of the priority of environmental factors in relation to the economic and social factors. The authors' calculations of the main quantitative characteristics of the natural and technogenic safety of the monitoring sites of surface hydroecosystems of the Carpathian region of the studied territory are presented in the paper. The authors have proposed the scientific approaches to defining the part of hydroresources which can be used by the designed tourist complex upon the condition of preserving the environmental safety and at the minimum technogenic risk. The component of the quantitative potential of hydroecosystems of the study area, which can be used for water supply, is theoretically determined; the maximum possible value of wastewater discharge, as a reserve for self-purification, and accumulation in catchment basins is calculated for the potential value. The authors have analyzed the obtained research data on the average, maximum and minimum concentrations of chemicals in the Black Tysa River 1.0 km upstream the urban-type settlement of Yasinia and the average, maximum and minimum concentrations of chemicals in the Black Tysa River 1.5 km downstream the urban-type settlement of Yasinia for the period 2014-2019, obtained by the Transcarpathian Hydrometeorological Center in a certified laboratory. The location of treatment facilities of the designed tourist complex is proposed.

Key words: tourist complex, ecoresource provision, hydroecological potential, hydroecosystem, quality of water resources.

References

- 1 Arkhypova L.M. Hranychna mistkist ta stalyy rozvytok rekreatsiinoi zony «Bukovel» // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia: naukovo-tekhnichnyi zhurnal/zasn.IFNTUNH. – №2(10)- Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 2014. – S. 93-100.
- 2 Ekolohichna bezpeka zbalansovanoho resursokorystuvannia v Karpatskomu rehioni: naukova monohrafiia / za red. profesoriv – dokt. heol.-min. nauk O.M. Adamenka ta dokt. tekhn. nauk Ya.O. Adamenka. – Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 2013. – 368 s.
- 3 Kravchuk Ya. S., Adamenko O. M., Adamenko Ya. O. Heomorfolohichniy analiz rel'iefu perspektyvnykh dilianok Ukrainykykh Karpat dlia rekreatsiinykh potreb (na prykladi baseinu Chornoj Tysy) / Problemy heomorfolohii i paleoheohrafiy Ukrainykykh Karpat i prylehlykh terytorii: zbirnyk naukovykh prats / Lviv. nats. un-t im. Ivana Franka – Lviv : LNU im. Ivana Franka, Vyp. 2 (10). – 2019. – S.18-41 DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2020.1.3202>.
- 4 Perederko V.P. Nadmirnyi turyzm u suspilstvi spozhyvannia. Vytoky, evoliutsiia, naslidky // Monohrafiia, 2018. – V-vo Lambert.-148 s.
- 5 Karpinski M., Pohrebennyk V., Bernatska N., Ganczarczyk J., Shevchenko O. Simulation of artificial neural networks for assessing the ecological state of surface water. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 2018. – SGEM, 18, 2.1, 693-700.
- 6 Obodovskyi Yu.O., Khilchevskyi V.K., Obodovskyi O.H., Konovalenko O.S. Hidromorfolohichniy stan richok verkhnoi chastyni baseinu Tysy (v mezhakh Ukrainy) // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2016. – T.4(43) – S.38-51.
- 7 Adamenko O. M., Adamenko Ya. O., Kravchuk Ya. S. Heolohichna budova perspektyvnoi dlia rekreatsiino-turystychnoho osvoinnia dilianky baseinu Chornoj Tysy (Ukrainski Karpaty) / Problemy heomorfolohii i paleoheohrafiy Ukrainykykh Karpat i prylehlykh terytorii : zbirnyk naukovykh prats / Lviv. nats. un-t im. Ivana Franka – Lviv : LNU im. Ivana Franka, Vyp. 1 (11). – 2020. – S.85-104 DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2020.1.3202>.

- 8 Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyy, M., Soloviy, K. Results of Surface Water Quality Monitoring of the Western Bug River Basin in Lviv Region. // *Journal of Ecological Engineering*, 2020. - 21, 3. – pp. 18-26, <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.
- 9 Vodnyi kodeks Ukrainy : ofits. tekst iz zminamy stanom na 04 serp. 2016 r. № 1990-III // Vidom. Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 2001. – № 2/3.
- 10 Natsionalnyi plan upravlinnia baseinom r. Tysa [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://buvrtysa.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final_ost.pdf.
- 11 Konsevykh L.M. Obruntuvannya koreliatsiynoho zviazku richkovoho stoku z vysotoiu mistsevosti v Karpatskomu rehioni // *Naukovi zapysky Ternopilskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu. Serii: Heohrafiia*. – 2004. – №2(7). – S.41-48.
- 12 Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/JeS : osnov. terminy ta yikh vyznachennia / [pidhot.: Aliiev K. ta in.]. – Vyd. ofits. – K. : [b. v.], 2006. – 240 s.
- 13 Hryniuk V. I., Arkhypova L. M. Regularity of effects of climatic changes on quality indicators of surface water of the Dniester basin // *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2018. – 3(165). – pp. 125–133. – DOI: 10.29202/nvngu/2018-3/17.
- 14 Arkhypova L.M. Ekolohichni aspekty otsinky yakosti pryrodnykh vod II-i Vseukrainskyi zizd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu (Ekolohiia/Ecology-2009) // *Zbirnyk naukovykh statei*. – Vinnytsia, 23-26 veresnia 2009 roku. – Vinnytsia: FOP Danyliuk, 2009 – 603 s.
- 15 Korchemlyuk M, Arkhypova L, Kravchynskyi R and Mykhailyuk J. Anthropogenic influence from point and diffuse sources of pollution in the Upper Prut River basin // *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019. – 1(169). – pp 125-131.
- 16 Melnyk A., Chyr N. Modern aspects of research of the natural reserve fund of the Transcarpathian region as a core of the development of ecological tourism // *Ukr. geogr. z.*, 2019. – 3. – pp 43-52, <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.043>.
- 17 Arkhypova L.M. Otsinka hidroekolohichnogo potentsialu baseinu riky Svicha v raioni rozrobky naftohazovykh rodovyshch // *Naukovi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnogo universytetu nafty i hazu*, 2008. – №2(18). – S.17-20.
- 18 Ekolohichni stan vodotokiv baseinu Verkhnoi Tysy (ukrainsko – rumunska dilianka) // *Za red. S.O. Afanaseva – Uzhhorod «UVA»*, 2010. – 36s.
- 19 Arkhypova L.M. Zastosuvannya teorii i metodiv otsinky hidroekolohichnoi bezpeky na peredproektnykh stadiakh budivnytstva // *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichni zhurnal/zasn. IFNTUNH*; 2012.–№1(5)-Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte –S. 25-29
- 20 Staško S., Buczyński S. Drought and its effects on spring discharge regimes in Poland and Germany during the 2015 drought // *Hydrological Sciences Journal*, 2018. – 63. – pp 741-751.
- 21 Khilchevskyi V. K., Kurylo S. M., Sherstyuk N. P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. – 27(1). – pp. 68-80.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 622.756.3; 665.7

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-83-91

*Л. І. Челядин¹, В. С. Рібун²,
В. Л. Челядин³*

*¹Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
²ДВНЗ «Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника»,
³Інститут металофізики
імені Г.В. Курдюмова НАН України*

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВ З РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Існуючі технології отримання біодизельного палива є досить складними та енерговитратними з утворенням побічних продуктів у вигляді гліцерольної фази та стічних вод, які утворюються в результаті промивання біодизелю. В роботі запропоновано удосконалення технології отримання біодизельного палива, шляхом попередньої обробки ріпакової олії емульгатором для одержання мікроемульсії олії та етанолу, які між собою погано змішуються. Застосування надлишку натрій етанолату дозволяє не лише переестерифікувати ріпакову олію, а й додатково етерифікувати гліцерол, який при застосуванні традиційних технологій є побічним продуктом. Продуктами етерифікації гліцеролу є етилгліцерати. Біодизель з вмістом етилових етерів гліцеролу має кращі експлуатаційні властивості. Технологічна схема такого процесу не потребує етапу розділення гліцеринової та біодизельної фаз. Проте такий продукт повинен бути ретельно очищений. Тому в технологічну схему додали центрифугу. Нова технологічна схема процесу дає змогу удосконалити технологію синтезу біодизелю. Традиційна технологія отримання біодизелю передбачає охолодження та злив промивних вод в каналізацію, що в сучасних умовах забруднення навколишнього середовища є недопустимим. В роботі розглянуто вирішення проблеми стічних вод, які накопичуються після фази промивання. До їх складу входять залишки солей, сульфатної кислоти, етилового спирту та емульгатор неонол, які утворюють стійку азеотропну суміш. Сліди етилового спирту можуть бути видалені простою дистиляцією. Проте, видалення інших складових потребує застосування удосконалених способів. Для зменшення забруднень у промивних водах проведено апробаційні дослідження ефективної фізико-електрохімічної технології методом обробки вод в електропристрої перед тонкошаровим відстійником з наступною фільтрацією через цеоліт. Встановлено, що така технологія очищення дає змогу підвищити ступінь очищення за показником ХПК з 86,8 до 92,5 що вказує про можливість зменшення забруднень, які поступають у навколишнє середовище. Запропоновані удосконалення в технології біодизелю дозволяють збільшити вихід біодизелю за рахунок етерифікації гліцеролу та зробити процес більш екологічно чистим.

Ключові слова: переестерифікація; етанол; біодизель; мікроемульсія; промивні води; хімічне споживання кисню.

Постановка проблеми. На сьогодні всі країни світу стикаються зі зменшенням запасів вуглеводнів. Вирішити проблему непоновлюваних джерел енергії можуть так звані біопалива. Європейські країни постійно вдосконалюють законодавчу базу щодо обов'язковості використання палив з біосировини. Директива Європейського парламенту та ради 2009/28/ЄС передбачає використання не менше 10 % біопалив до 2020 року. Альтернативні моторні палива, зокрема біодизель, мають важливе значення для української економіки, оскільки Україна є аграрною

державою з високим потенціалом вирощування рослинної сировини для отримання біодизелю. Проте існуючі технології виготовлення біодизелю є досить енергозатратними, містять гліцерол, як побічний продукт та утворюють кислі стічні води, які є результатом промивання біодизелю.

Мета роботи полягає в удосконаленні технологічної схеми синтезу біодизелю з врахуванням екологічних аспектів. Для досягнення мети необхідно було вирішити такі завдання: вдосконалити технологічну схему на етапі синтезу етилових етерів гліцерилу та запропонувати розв'язання проблеми стічних вод. Об'єктом дослідження є технологія біодизелю, а предметом – технологічний етап додаткової переестерифікації гліцерилу та очищення промивних вод. Наукова новизна полягає в удосконаленні технології та технологічної схеми синтезу біодизельного палива з урахуванням екологічних аспектів, що запобігає утворенню побічного продукту гліцерину та дозволяє доочистити промивні води. Практична значущість даного дослідження полягає у зменшенні відходів технології синтезу біодизелю завдяки процесу доестерифікації гліцеролу, що збільшує вихід цільового продукту; розроблений спосіб доочистки вод дозволяє зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище та дозволяє повторно використовувати очищену воду, що може мати позитивний економічний ефект.

Аналіз літературних джерел. В літературі описана велика кількість способів та технологій виготовлення біопалив з використанням різноманітної сировини – рослинних олій, водоростей, пережарених олій та тваринних жирів, включаючи курячий, риб'ячий тощо. Основними способами отримання біопалив є піроліз, мікроемульгування та переестерифікація.

В результаті піролізу рослинних олій відбувається крекінг тригліцеридів до алканів та жирних кислот. Цей спосіб отримання біопалив є надзвичайно енергозатратним, оскільки середні температури, при яких відбувається крекінг природних жирів знаходяться в діапазоні 300 – 1000 °С. Також процес піролізу вимагає застосування каталізаторів і є багатонапрямленим, тому ускладнює отримання цільового продукту [2]. Технологія мікроемульгування дозволяє в якості біодизельного палива застосовувати стабільні колоїдні розчини спиртів, олій та поверхнево – активних речовин. Діаметр крапель в мікроемульсіях становить 1 – 150 нм. Проте використання такого палива має побічні ефекти у вигляді відкладень на робочих частинах двигуна [3].

Найпопулярнішим способом синтезу біодизелю є переестерифікація природних тригліцеридів, яка, передбачає використання каталізаторів та включає такі стадії: переестерифікація, розділення на фракції, сепарація естерової та гліцеролової фази, фільтрування та відгонка залишкового спирту. Процес переестерифікації рослинних олій нижчими аліфатичними спиртами або ацетатами є каталітичним – гомогенний та гетерогенний каталіз [4 - 5]. На сьогоднішній день поширеними є технології як на основі гомогенного лужного, так і кислотного каталізу. В якості гомогенного каталізатора зазвичай використовують розчини гідроксидів лужних металів [6 - 9], концентровані розчини сильних мінеральних кислот (сульфатної та соляної) або алкілбензолсульфофосфати [10, 11]. Застосування гетерогенного каталізу дозволяє виключити стадію нейтралізації залишків лугів чи кислот у розчинах, але процес протікає в більш жорстких умовах (200 – 300 °С та тиску до 20 атм), а деякі каталізатори досить швидко втрачають активність та потребують регенерації [12 - 19]. Хоча використання каталізаторів прискорює реакцію переестерифікації, але вимагає додаткових витрат на відділення та регенерацію каталізаторів. Тому, деякі автори [20] пропонують безкаталітичний спосіб отримання біодизелю в надкритичних умовах, який потребує значного надлишку спирту в системі та високих температур і тисків [21].

Тривалість реакції переестерифікації та повнота конверсії олії залежить також від суто технологічних аспектів, наприклад, інтенсивності перемішування, адже спирт та рослинні олії не змішуються між собою в силу різної природи [22]. Сепарація гліцеринової та естерної фази та очищення останньої від залишків спирту [23] можна проводити дистиляцією при тиску 100 – 130 Па, температурі 170-220°C без попередньої підготовки або за допомогою промивки водою та сушки [24].

Результати та обговорення досліджень. Розроблена безвідходна технологія (рис. 1) являє собою симбіоз мікроемульгування та переестерифікації. Застосування натрій етанолату в якості реагента дозволяє одночасно проводити етерифікацію гліцеролу до етилових етерів гліцеролу, що дозволяє перевести побічний продукт у біодизель, збільшуючи таким чином вихід продукту. Для емульгування ріпакової олії використано емульгатор неонол – 9, який забезпечує рівномірний розподіл спиртової та олійної фаз. Крім зазначених у табл. 1 трьох стадій, технологія отримання біодизелю включає такі стадії, як вилучення натрій сульфату, промивання біодизельної фази від

непрореагованих етанолу, кислоти та емульгатора, центрифугування для вилучення залишків води та отримання чистого біодизелю. Матеріальний баланс наведений в табл. 2.

Таблиця 1

Технологічні параметри отримання біодизелю

№ з/п	Параметри технологічного процесу	Стадії технологічного процесу		
		синтез етилату натрію	модифікація ріпакової олії	синтез біодизелю
1	Температура, К	351	353	348
2	Час, хв.	60	30	90
3	Інтенсивність перемішування, об./хв.	не менше 80	не менше 120	не менше 80
4	Спирт: NaOH	2,5:1	-	-
5	Спирт: Ріпакова олія	-	-	6:1
6	Вміст неолу, %	-	3	-

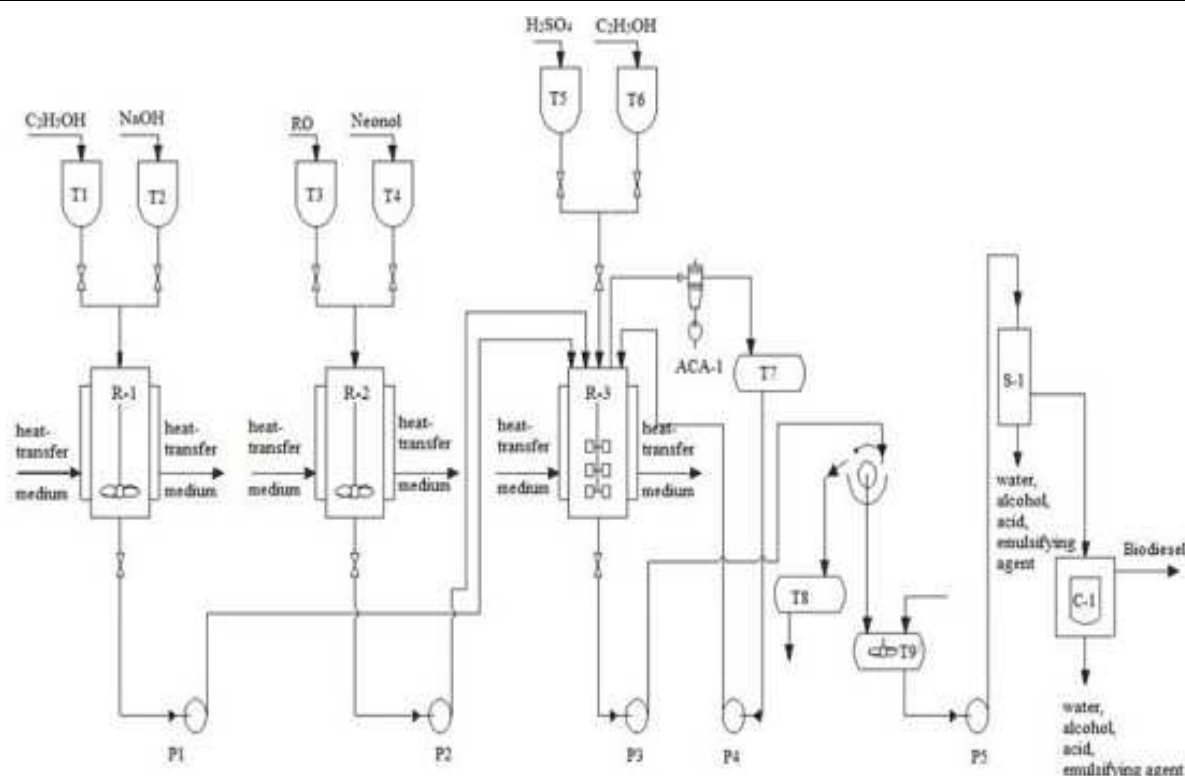


Рис. 1. Принципова технологічна схема періодичного процесу одержання біодизелю (С-1 – ємність етанолу, С-2 – ємність NaOH, Р-1 – реактор синтезу етаноліату натрію, С-3 – ємність РО, С-4 – ємність неолу, Р-2 – реактор підготовки РО, Р-3 – реактор переестерифікації, С-5 – ємність H₂SO₄, АПО-1 – апарат повітряного охолодження, С-6 – ємність для етанолу, С-7 – проміжна ємність для етанолу; С-8 - ємність для Na₂SO₄, Ф-1 – фільтр, С-9 – промивна ємність, В-1 – відстійник, Ц-1 – центрифуга, Н-1-5 – насос)

Таблиця 2

Матеріальний баланс лабораторного синтезу біодизелю

№ з/п	Реагенти до реакції		Продукти синтезу			
	назва	маса, г	до перегонки		після перегонки	
			назва	маса, г	назва	маса, г
1	NaOH	38,8	Фаза 1	430	Біодизель	315,7
2	C ₂ H ₅ OH	370,025	Фаза 2	150	C ₂ H ₅ OH	248,3
3	Олія+Неонол (3%)	270	Солі	64,8	-	-
4	H ₂ SO ₄	48	Σ	644,8	Σ	564
5	Σ	727,445	Маса втрат	82,645	Маса втрат	80,8

Залишок, який отримують після центрифугування, піддають дистиляції для вилучення етанолу, що забезпечує зменшення втрат та повторне використання регенованого спирту. Процес ведуть за температури 78-80°C.

Отриманий біодизель був проаналізований за фізико-хімічними та експлуатаційними параметрами (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристики отриманого біодизелю, етилових естерів за EN-142114 та біодизелю за ДСТУ 6081:2009

№ з/п	Назва характеристики	Отриманий біодизель	Етилові естери EN-142114	Біодизель ДСТУ 6081:2009
1	Густина, кг/м ³	882	860-900	860 - 900
2	В'язкість, мГ/с	5,3	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0
3	Кислотне число, мГ КОН/г	0,48	≤ 0,50	≤ 0,50
4	Йодне число, гJ ₂ /100	116	120	120
5	Температура застигання, °С	-9	-10	
6	Цетанове число	55	≥ 51	≥ 51

Традиційно, кубовий залишок після дистиляції самоохолоджують в апараті до температури 50°C, розчиняють водою і зливають в каналізацію. Під час отримання 1000 кг біодизелю для промивки використовують 105–120 кг води [26]. Промивні води містять залишки кислоти, етилового спирту та неонол (табл. 4).

Таблиця 4

Склад промивних вод, які утворюються під час синтезу біодизелю

№ з/п	Компонент	m, г	ω, %
1	Сульфатна кислота	0,3	0,2
2	Неонол	4,5	3
3	Етиловий спирт	15	10
4	Вода	130,2	86,8
5	Σ	150	100

Очищення стічних вод проводять різними технологіями: механічними, флотаційними, хімічними, біологічними та іншими. На сьогодні очищення стоків проводять в малогабаритних ефективних установках [27]. Технологія переробки шламу водоочищення, використовуючи таку установку описана в [28]. Враховуючи сучасні тенденції до локального очищення стоків, запропоновано провести лабораторну апробацію їх очищення.

Лабораторна установка складається з ємності для забрудненої стічної води, електропристрою, випрямляча, тонкошарового відстійника, фільтра і збірника очищеної води. Електропристрій має циліндричну конструкцію, яка містить два електроди - один у центрі, а другий становить внутрішню циліндричну поверхню корпусу електричного пристрою. Під час розчинення залізного анода утворюються гідроксиди заліза, які мають адсорбційну активність щодо колоїдних та завислих частинок. Основні процеси, що відбуваються в об'ємі електроліту: зміна рН середовища; зміна окислювально-відновного потенціалу системи; фазодисперсійні перетворення домішок води (утворення або розчинення твердої фази, відділення газоподібної фази; міграція частинок); теплові зміни; окислювально-відновлювальні реакції. Дослідження проводилися в динамічних умовах.

Перший етап очистки включає проходження стічних вод протягом 30 хв. у кількості 5 дм³ через електричний пристрій напругою 10 і 12 В в тонкошаровий відстійник, де їх легкі зважені тверді частинки відокремлювались у верхній частині завдяки бульбашкам кисню та водню, а важкі зважені тверді речовини рухалися від похилих площин відстійника до його дна. Електрообробка перед відстійником спричиняє флотацію завислих і органічних забруднень у верхню частину тонкошарового відстійника газами електролізу.

Очищення стічних вод на другому етапі було проведено методом фільтрації через цеоліт-клинцитоліт (табл. 5).

Після фільтрації визначали зміну вмісту завислих частинок та ХСК порівнюючи їх з початковими, показники стічної води визначалися за методиками описаними в [30, 31].

Таблиця 5

Характеристики стандартних марок цеоліту [29]

№ з/п	Діаметр частинок фракції d, мм	Насипна густина, кг/дм ³	Питома поверхня, м ² /г
1	1 - 3	1,15	13,2
2	3 - 5	1,14	29,1
3	5 - 8	1,12	40,8

Для визначення впливу часу електрообробки на загальний вміст забруднень провели дослідження ХСК, оскільки забруднення у вигляді зважених та органічних сполук найбільше впливають на цей показник. Результати досліджень попереднього очищення стічних вод під впливом електрообробки та відділення завислих частинок з похилих пластинок тонкошарового відстійника наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Результати очищення промивних вод електрохімічною технологією

№ з/п	До очищення		Параметри		Після очищення		Ступінь очищення α , %
	завислі частинки, мг/дм ³	ХСК ₁ , мгО ₂ /дм ³	напруга в елетропристрої, В	витрата дм ³ /год	завислі частинки, мг/дм ³	ХСК ₂ , мгО ₂ /дм ³	
1	10,4	172,6	10	8	3,1	22,8	86,8
2	15,5	255,5	12	8	3,2	28,4	88,9
3	19,8	381,4	12	10	2,3	30,1	92,1
4	15,4	317,8	14	10	3,2	27,5	91,3
5	12,6	285,1	12	8	3,3	21,3	92,5

Результати досліджень показали, що збільшення часу обробки в електропристрої до п'яти хвилин за рахунок зміни витрати стічної води через нього, підвищує ступінь очищення максимально, а в результаті експериментальних досліджень встановлено, що при очищенні стічних вод за новою технологією ХСК знижується на 86,8-92,5%,

Встановлено, що якість стічних вод підвищується шляхом зменшення в них шкідливих компонентів, за рахунок електро-флотації на першій стадії очищення та фільтрації через цеоліт/клинотиллоліт на другій стадії, що впливає на ХСК, який вказує на забруднення води органічними забруднювачами.

Висновки.

1 Традиційні технології синтезу біодизелю мають ряд недоліків, основний з яких є присутність побічних пробуктів у вигляді водно – спиртово – гліцеролової фази.

2 Затосування технології мікроемульгування ріпакової олії та етилового спирту дозволяє ефективніше проводити процес синтезу біодизелю, оскільки утворення крапель меншого розміру дозволяє збільшити площу реакційної поверхні, що в свою чергу збільшує конверсію ріпакової олії.

3 Запропонована удосконалена технологія та технологічна схема переесетерифікації ріпакової олії зі збільшенням виходу біодизеля на 10-15% та відповідним зменшенням кількості побічних продуктів та відходів.

4 За результатами проведених досліджень, встановлено, що нова фізико-електрохімічна технологія очистки промивних вод, які утворюються в процесі синтезу біодизелю, дозволяє знизити ХСК на 86,8-92,5%, що вказує про можливість зменшення забруднень, які поступають у загальну каналізаційну систему.

Література

1 Advances in Solid-catalyc and Non-catalyc Technologies for Biodiesel Production/ A. Islam et al. Energy Conversion and Management. 2014. V.88, P. 1200-1218 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.04.037>).

2 J. Yan, Y. Yan. Biodiesel Production and Technologies. Encyclopedia of Sustainable Technologies. 2017. P. 261-272 (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10110-1>).

- 3 B. Karmakar, G. Halder. Progress and future of biodiesel synthesis: Advancements in oil extraction and conversion technologies. *Energy Conversion and Management*. 2019. V. 182 P. 307-339 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.066>).
- 4 S. P. Singh, D Singh. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 200 - 216 (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.017>).
- 5 V. I. Kyrychenko, V. V. Kyrychenko, V. S. Ribun, M. B. Skladaniuk. Alternative fuels from vegetable oils: innovative methods and technologies of purification and usage. *Physics and chemistry of solid state*. 2020. V. 21(3). P. 552-559 (<http://doi.org/10.15330/pcss.21.3.552-559>).
- 6 Advances on kinetics and thermodynamics of non-catalytic supercritical methanol transesterification of some vegetable oils to biodiesel/ P. Andreo-Martinez et al. *Energy Conversion and Management*. 2018. V. 173, P. 187-196 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.069>).
- 7 Transesterification double step process modification for ethyl ester biodiesel production from vegetable and waste oils/ R. Guzzato et al. *Fuel*. 2012. V. 92 (1), P. 197-203 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.010>).
- 8 Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review/ M. Tabataboei et al. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019. V. 74 P. 239-303 (<https://doi.org/10.1016/j.peccs.2019.06.001>).
- 9 Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol/ X. Lui et al. *Fuel*. 2008. V.87, (7). P. 1076-1082 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.059>).
- 10 M. Athar, S. Zaidi. A review of the feedstocks, catalysts, and intensification techniques for sustainable biodiesel production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. V.8(6), P. 104525 (<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104523>).
- 11 Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis/ E. Loeto et al. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2005. V. 44 (14). P. 5353 - 5363 (<https://doi.org/10.1021/ie049157g>).
- 12 В. Г. Систер и др. Анализ физико-химических и химмотологических свойств образцов биодизельных топлив с различным содержанием метиловых эфиров жирных кислот. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2008. № 11. С. 42 – 44.
- 13 Спосіб одержання біодизельного палива шляхом переестерифікації тригліцеридів етанолом на каталізаторі: пат. 98281 Україна: МПК С 10 L 1/02, С 07С 67/02, С 07С 67/03, С 07С 69/003 . № а 201108659; заявл. 11.07. 2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.
- 14 S. Furuta, H. Matsuhashi, K. Arata. Biodiesel fuel production with solid superacid catalysis in fixed bed reactor under atmospheric pressure. *Catalytic Communications*. 2004. V.5(12). P. 721-723 (2004) (<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2004.09.001>).
- 15 Demibras. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Energy Conversion Management*. 2006. V. 47 (15-16). P. 2271-2282 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.11.019>).
- 16 Biodiesel from waste cooking oil via base catalytic and supercritical methanol transesterification/ A. Demibras et al. *Energy Conversion Management*. 2008. V. 50 (4), P. 923-927 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.023>).
- 17 L. Wang, J. Yang, Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol. *Fuel*. 2007. V. 86 (3). P. 328-333 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.07.022>).
- 18 Получение биодизельного топлива в сверхкритических флюидных условиях: без каталитический и каталитический варианты/С. В. Мазанов и др. *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18, №7. С. 159 – 161.
- 19 P. Prasertpong, N. Tippayawong. Upgrading of biomass pyrolysis oil model compound via esterification: Kinetic study using heteropoly acid. *Energy Procedia*. 2019. V.160. P. 253-259 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.144>).
- 20 Process for the production of biodiesel in continuous mode without catalysts: pat. 2007/0010681 A1 USA: publ. 11.01.2001.
- 21 [21] M. Tobar, G. A. Nunez. Supercritical transesterification of microalgae triglycerides for biodiesel production: Effect of alcohol type and co-solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2018. V. 137. P. 50 - 56 (<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.008>).
- 22 Умінський С. А., Інютін С. В. Гідродинамічне обладнання для отримання біопалива. *Техніка та технології АПК*. 2013. №2 (41). С. 11–13.

23 M. Chernoch, M. Hajek, F. Skopal. Ethanolysis of rapeseed oil – Distribution of ethyl esters, glycerides and glycerol between ester and glycerol phases. *Bioresource Technology*. 2010. V.101 (7). P. 2071-2075 (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.035>).

24 V. Zlatar, M. Obranovich, Purification of the ester phase by water extraction in biodiesel production. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2018. V. 95 (1). P. 1431-1444 (<https://doi.org/10.1002/aocs.12133>).

25 V. Ribun, S. Kurta, T. Hromovy, O. Khatsevich. Improving the Technology Synthesis and Properties of Biodiesel. *Physics and chemistry of solid state*. 2018. 19(3). P. 258-269 (<https://doi.org/10.15330/pcss.19.3.258-269>).

26 L. I. Cheladyn et al. Wastewater purification technology by two-stage treatment in electrical device of a compact local installation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V.3 (10). P. 63-70 (<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206815>).

27 V. L. Cheladyn et al. Sludge of oil refining units and their processing. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. V. 21 (7). P. 169-177 (<https://doi.org/10.12911/22998993/125556>).

28 Micropollutant adsorption from water with engineered porous ceramic architectures produced by additive manufacturing and coated with natural zeolite/ R. König et al.. *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 258. P. 120500 (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120500>).

29 ДСТУ ISO 6060:2003. Якість води. Визначення хімічного спожиння кисню.

30 Ю. Ю. Лурье. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: 1984, 448 с.

31 S. Wang, Y. Peng. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2010. V. 156 (1). P. 11-24 (2010) (<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>).

*L. Cheliadyn¹, V. Ribun²,
V. Cheliadyn³*

¹Ivano-Frankivsk National

Technical University of Oil and Gas,

²Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,

³G. V. Kurdyumov Institute for

Metal Physics of the N.A.S. of Ukraine

TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF IMPROVING BODIESEL PRODUCTION FROM VEGETABLE OILS

Traditional biodiesel production technologies are complex, energy consuming and lead to the formation of by-products, such as glycerol phase and waste water during biodiesel washing. The paper deals with improving the technology of biodiesel production by treating rapeseed oil with an emulsifier to obtain a microemulsion of oil and ethanol, which do not mix with each other. The use of excess sodium ethoxide allows to transesterify both rapeseed oil and glycerol, which is a by-product of traditional technologies. The esterification products of glycerol are ethyl glycerates. Biodiesel, containing ethyl ethers of glycerol, has better performance properties. The technological scheme of such a process does not require the separation stage of glycerol and biodiesel phases. However, this product should be thoroughly cleaned. Therefore, a centrifuge was added to the technological scheme. The new technological scheme of the process makes it possible to improve the technology of biodiesel synthesis. The traditional technology of biodiesel production involves cooling and draining the wash water into the sewer, which is unacceptable in the modern conditions of environmental pollution. The paper considers the solution to the problem of wastewaters that accumulate after the washing phase. They contain the residues of salts, sulfuric acid, ethyl alcohol and emulsifier neonol, which form a stable azeotropic mixture. The traces of ethyl alcohol can be removed by simple distillation. However, removing other components requires the use of advanced methods. To reduce pollution in the wash water, the approbatory studies of the effective physico-electrochemical technology were performed by means of treating water in an electrical device before it was directed to a thin-layer settling tank and then to the filtration through zeolite. This purification technology helps to increase the purification degree in terms of chemical oxygen demand (COD) from 86.8 to 92.5 that proves reducing pollutants entering the environment. The proposed improvements of biodiesel technology help to increase the yield of biodiesel due to the esterification of glycerol and make the process more environmentally friendly.

Key words: transesterification; ethanol; biodiesel; microemulsion; wash water; chemical oxygen demand.

References

- 1 Advances in Solid-catalytic and Non-catalytic Technologies for Biodiesel Production/ A. Islam et al. *Energy Conversion and Management*. 2014. V.88, P. 1200-1218 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.04.037>).
- 2 J. Yan, Y. Yan. Biodiesel Production and Technologies. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. 2017. P. 261-272 (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10110-1>).
- 3 B. Karmakar, G. Halder. Progress and future of biodiesel synthesis: Advancements in oil extraction and conversion technologies. *Energy Conversion and Management*. 2019. V. 182 P. 307-339 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.066>).
- 4 S. P. Singh, D Singh. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 200 - 216 (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.017>).
- 5 V. I. Kyrychenko, V. V. Kyrychenko, V. S. Ribun, M. B. Skladaniuk. Alternative fuels from vegetable oils: innovative methods and technologies of purification and usage. *Physics and chemistry of solid state*. 2020. V. 21(3). P. 552-559 (<http://doi.org/10.15330/pcss.21.3.552-559>).
- 6 Advances on kinetics and thermodynamics of non-catalytic supercritical methanol transesterification of some vegetable oils to biodiesel/ P. Andreo-Martinez et al. *Energy Conversion and Management*. 2018. V. 173, P. 187-196 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.069>).
- 7 Transesterification double step process modification for ethyl ester biodiesel production from vegetable and waste oils/ R. Guzzato et al. *Fuel*. 2012. V. 92 (1), P. 197-203 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.010>).
- 8 Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review/ M. Tabataboei et al. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019. V. 74 P. 239-303 (<https://doi.org/10.1016/j.peccs.2019.06.001>).
- 9 Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol/ X. Lui et al. *Fuel*. 2008. V.87, (7). P. 1076-1082 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.059>).
- 10 M. Athar, S. Zaidi. A review of the feedstocks, catalysts, and intensification techniques for sustainable biodiesel production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. V.8(6), P. 104525 (<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104523>).
- 11 Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis/ E. Loeto et al. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2005. V. 44 (14). P. 5353 - 5363 (<https://doi.org/10.1021/ie049157g>).
- 12 V. G. Sister i dr. Analiz fiziko-himicheskikh i himmotologicheskikh svoystv obraztsov biodizelnyih topliv s razlichnyim sodержaniem metilovyih efirov zhirnyih kislot. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*. 2008. # 11. S. 42 – 44.
- 13 Sposib oderzhannia biodyzelnoho palyva shliakhom pereesteryfikatsii tryhlitserydiv etanolom na katalizatori: pat. 98281 Ukraina: MPK S 10 L 1/02, C 07C 67/02, C 07C 67/03, C 07C 69/003 . № a 201108659; zaiavl. 11.07. 2011; opubl. 25.04.2012, Biul. №8.
- 14 S. Furuta, H. Matsushashi, K. Arata. Biodiesel fuel production with solid superacid catalysis in fixed bed reactor under atmospheric pressure. *Catalytic Communications*. 2004. V.5(12). P. 721-723 (2004) (<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2004.09.001>).
- 15 A. Demibras. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Energy Conversion Management*. 2006. V. 47 (15-16). P. 2271-2282 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.11.019>).
- 16 Biodiesel from waste cooking oil via base catalytic and supercritical methanol transesterification/ A. Demibras et al. *Energy Conversion Management*. 2008. V. 50 (4), P. 923-927 (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.023>).
- 17 L. Wang, J. Yang. Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol. *Fuel*. 2007. V. 86 (3). P. 328-333 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.07.022>).
- 18 Poluchenie biodizelnoho topliva v sverhkriticheskikh flyuidnyih usloviyah: bez kataliticheskoy i kataliticheskoy varianty /S. V. Mazanov i dr. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2015. T. 18, #7. S. 159–161.
- 19 P. Prasertpong, N. Tippayawong. Upgrading of biomass pyrolysis oil model compound via esterification: Kinetic study using heteropoly acid. *Energy Procedia*. 2019. V.160. P. 253-259 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.144>).

- 20 Process for the production of biodiesel in continuous mode without catalysts: pat. 2007/0010681 A1 USA: publ. 11.01.2001.
- 21 M. Tobar, G. A. Nunez. Supercritical transesterification of microalgae triglycerides for biodiesel production: Effect of alcohol type and co-solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2018. V. 137. P. 50-56 (<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.008>).
- 22 Umynskyi S. A., Iniutin S. V. Hidrodynamichne obladnannya dlia otrymannia biopalyva. *Tekhnika ta tekhnolohii APK*. 2013. №2 (41). S. 11 – 13.
- 23 M. Chernoch, M. Hajek, F. Skopal. Ethanolysis of rapeseed oil – Distribution of ethyl esters, glycerides and glycerol between ester and glycerol phases. *Bioresource Technology*. 2010. V.101 (7). P. 2071-2075 (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.035>).
- 24 V. Zlatar, M. Obranovich, Purification of the ester phase by water extraction in biodiesel production. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2018. V. 95 (1). P. 1431-1444 (<https://doi.org/10.1002/aocs.12133>).
- 25 V. Ribun, S. Kurta, T. Hromovy, O. Khatsevich. Improving the Technology Synthesis and Properties of Biodiesel. *Physics and chemistry of solid state*. 2018. 19(3). P. 258-269 (<https://doi.org/10.15330/pcss.19.3.258-269>).
- 26 L. I. Cheladyn et al. Wastewater purification technology by two-stage treatment in electrical device of a compact local installation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V.3 (10). P. 63-70 (<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206815>).
- 27 V. L. Cheladyn et al. Sludge of oil refining units and their processing. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. V. 21 (7). P. 169-177 (<https://doi.org/10.12911/22998993/125556>).
- 28 Micropollutant adsorption from water with engineered porous ceramic architectures produced by additive manufacturing and coated with natural zeolite/ R. Konig et al.. *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 258. P. 120500 (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120500>).
- 29 DSTU ISO 6060:2003. Yakist vody. Vyznachennia khimichnoho spozhyvannia kysniu.
- 30 Yu. Yu. Lure. *Analiticheskaya himiya promyshlennyh stochnyh vod*. M.: 1984, 448 s.
- 31 S. Wang, Y. Peng. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2010. V. 156 (1). P. 11-24 (2010) (<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>).

*І. Б. Засідко**Державне агентство
водних ресурсів України*

СПОСІБ ОТРИМАННЯ БІОСОРБЕНТУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

Важкі метали є небезпечними, токсичними забруднювачами з кумулятивною дією. Попадаючи із стічними водами комунальних підприємств у водні об'єкти, вони вступають у взаємодію з компонентами водного середовища і становлять загрозу для питного та рибогосподарського водопостачання.

Проблема забруднення поверхневих вод важкими металами та їх накопичення в осадах стічних вод, що утворюються на очисних спорудах комунальних підприємств є однією з пріоритетних у сфері охорони навколишнього природного середовища та ресурсозбереження.

Адже відсутність утилізації осадів стічних вод (ОСВ) та збільшення їх кількості на діючих мулових майданчиках призводить до відчуження нових ділянок землі під площадки складування, забруднення ґрунтових вод та повітря в той час, як ОСВ після додаткової обробки, з метою зменшення токсичного впливу важких металів, можуть бути використані в якості вторинної сировини.

Діючі мулові майданчики для зневоднення осадів часто не мають гідроізоляції і є джерелом забруднення ґрунтових вод та повітря. З огляду на це, осади міських стічних вод є небезпечними в санітарно-гігієнічному і екологічному відношенні і вимагають, з метою запобігання неконтрольованих забруднень, спеціальної обробки та пошуку нових напрямів їх утилізації.

В роботі запропонований спосіб отримання біосорбенту з ОСВ в режимі термічного піролізу та методика дослідження його питомої площі поверхні. Для цього ОСВ після попередньої обробки шляхом зневоднення та подрібнення піддають піролізу в ізольованому від атмосфери герметичному контейнері, який сполучений гідравлічно з блоком управління процесом піролізу. При піролізі осади стічних вод перетворюються на оксиди металів і їх можна використовувати як біосорбент. Визначення питомої площі поверхні біосорбенту проводили методом низькотемпературної адсорбції азоту.

Ключові слова: утилізація, важкі метали, термічний піроліз, біосорбент, блок управління процесом піролізу, питома площа поверхні

Актуальність досліджень. Проблема переробки (ОСВ) комунальних підприємств, їх знешкодження та утилізації з кожним роком набуває особливої актуальності та вимагає нагального розв'язання, оскільки зберігання ОСВ на території очисних споруд перетворює їх в джерело бактеріальної і токсикологічної небезпеки. Кількість осадів зростає з кожним роком і в цілому по Україні становить понад 5 млрд.т. Для зберігання такої кількості осадів із господарського обороту вилучено більше 10 тис. га землі, з кожним роком ця територія збільшується [1,2]. Ця проблема характерна і для Івано-Франківської області. Так, в Івано-Франківську на очисних спорудах КП «Івано-Франківськводокотехпром» є 13 мулових майданчиків, загальною площею 17400 м², на які щодобово поступає 49 т зневодненого осаду. В м. Коломия на очисних спорудах КП «Коломияводоканал» є 6 мулових майданчиків загальною площею 7000 м², на які щодобово поступає біля 10 т осаду, а в м. Калуш на мулові майданчики ТОВ «Карпатнафтохім» щодобово перекачується після переробки господарсько-побутових стоків біля 15 т осаду. В цілому на мулових майданчиках області площею біля 35 тис. м² зберігається понад 40 тис. тонн осаду господарсько-побутових стоків. Мулові майданчики заповнені більше допустимої норми і тільки незначна частина ОСВ утилізується в сільському господарстві [3-6]. Високий ризик забруднення довкілля вимагає пошуку нових напрямів утилізації ОСВ.

Високий ризик забруднення довкілля вимагає пошуку нових методів переробки та використання ОСВ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел показує, що поширеним способом переробки ОСВ є їх спалювання. Проте, в результаті неповного згорання ОСВ в атмосферу попадає величезної кількості сажі і шкідливих органічних сполук. Це вимагає

застосування могутніх газоочисних установок і приводить до утворення нових відходів – золи, що створює додаткову проблему в пошуку методу її обробки та зберігання [7-10].

Метою роботи є розробка способу тримання біосорбенту в режимі термічного піролізу ОСВ.

Методика експерименту:

1 Принцип роботи установки для експериментальних досліджень зразків ОСВ в режимі піролізу. Установка включає муфельну піч із нагрівальною камерою, що встановлена у корпусі печі, нагрівач з термоелектричним перетворювачем та системою керування, герметичний контейнер із кришкою, встановлений в середині камери печі на центраторі. У кришці контейнера виконаний отвір, в якому встановлений патрубковий, що проходить через отвір у дверках муфельної печі назовні та з'єднаний із блоком управління процесом піролізу через вхідний отвір маніпулятора, і далі сполучений через вихідний отвір маніпулятора, трубопровід і вентиль із вакуумним насосом. Трубопровід оснащений двома штуцерами із вентилями відповідно для відбору газоподібних продуктів процесу піролізу та сполучення з атмосферою, при цьому маніпулятор виконаний у виді трійника із наскрізним каналом та нарізами на кінцях, а з правої та лівої сторін вказаний маніпулятор оснащений відповідно клапанами, при чому в трійнику виконаний додатково різьбовий отвір, перпендикулярний до наскрізного каналу, через який приєднано мановакууметр.

Піроліз ОСВ проводиться після їх попередньої обробки шляхом зневоднення та подрібнення. ОСВ поміщають в ізолюваний від атмосфери герметичний контейнер, який сполучений гідравлічно з блоком управління процесом піролізу.

В блоці управління здійснюється ряд технологічних операцій процесу піролізу, що включає вакуумування всієї гідравлічної системи: контейнера зі зразками, маніпулятора і трубопроводу, дистанційно зв'язаного з вакуумним насосом, пробовідбірниками газової суміші і запобіжним вентилям зв'язку з атмосферою, а також проведення виміру тиску і продуктивності газової суміші, яка продукується в результаті реакції піролізу зразків осаду в контейнері.

2 Спосіб отримання біосорбенту. Для отримання біосорбенту відбиралися свіжі осадки стічних вод масою 50 г. Відібрані зразки поміщалися у фарфорову чашку та висушувалися у сушильній шафі до відносної вологості 30%. Підготовлений висушений осадок поміщали у реактор піролізу. Герметично закритий реактор поміщався в спеціально обладнану муфельну піч та нагрівався до температури 600°C (рис. 1). Під час нагріву здійснювався постійний контроль тиску та температури в реакторі. Тиск вимірювався завдяки манометру, що кріпився до газовивідної трубки реактора. Температура замірялася за допомогою вбудованої в муфельну піч термометри. Час піролізу складав 2 години.



Рис. 1. Установка для отримання біосорбенту

Результати експериментальних досліджень та обговорення. У результаті експериментальних досліджень була отримана ізотерма адсорбції азоту на біосорбенті, рисунок 1. Згідно з теорією ВЕТ існує п'ять основних типів ізотерм адсорбції газів на твердих адсорбентах. Отримані результати можуть бути віднесені до IV типу ізотерм адсорбції. Даний тип ізотерм характерний для поруватих сорбентів, у яких адсорбція

обмежена об'ємом мезопор. Розмір мезопор при цьому знаходиться у межах 2-50 нм. Гранична адсорбція досягається при значеннях тиску $P/P_0 \ll 1$ [11,12]. Як видно з рис. 2 ізотерма адсорбції має типову петлю гістерезису, яка виникає через капілярну конденсацію азоту у порах при значеннях тиску $P/P_0 > 0,3$.

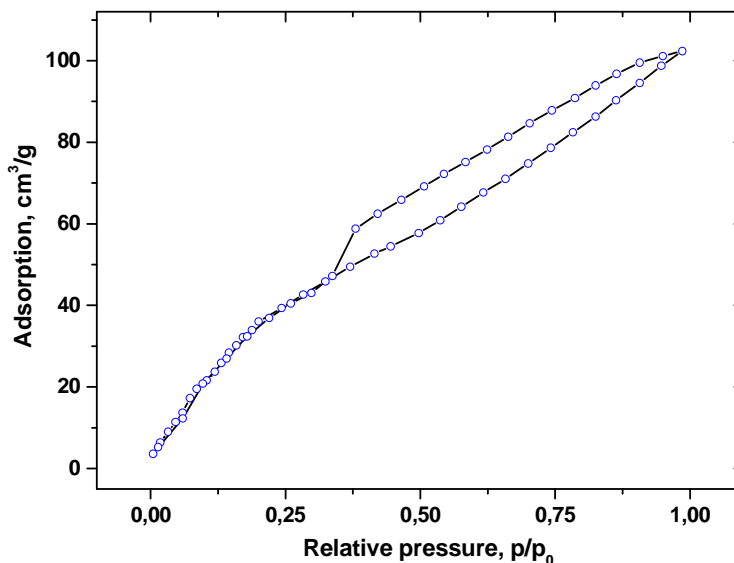


Рис. 2. Ізотерма адсорбції азоту на біосорбенті

Розбіжність ліній адсорбції та десорбції свідчить про заповнення газом мезопор. Дане явище пояснюється тим, що тиск конденсації над увігнутою поверхнею є меншим за тиск над плоскою поверхнею. Значення тиску при якому починається капілярна конденсація в досліджуваному біосорбенті ($P/P_0 > 0,3$) дозволяє визначити значення розміру пор [13]. Для визначення радіусу пор при відомому тиску використовувалось рівняння Кельвіна:

$$\frac{\ln P_r}{P_s} = -\frac{2V_m \times \sigma}{r \times R \times T}, \tag{1}$$

де P_r, P_s – тиск над меніском в капілярі і тиск насичення над плоскою поверхнею; V_m – молярний об'єм рідкого адсорбату поверхневий натяг рідкого адсорбату; r – радіус кривизни меніска в капілярах, який зазвичай вважають рівним радіусу капіляра.

Час дегазації зразків на аналізаторі Quantachrome Autosorb NOVA 2200e складав 20 годин при температурі 180°C. Маса дослідного зразка становила 0.051 г.

Опрацювання експериментальних даних дозволило отримати значення об'єму пор в залежності від їх розміру та питомої площі поверхні. На рис. 3 представлена гістограма розподілу об'єму пор в залежності від їх розміру.

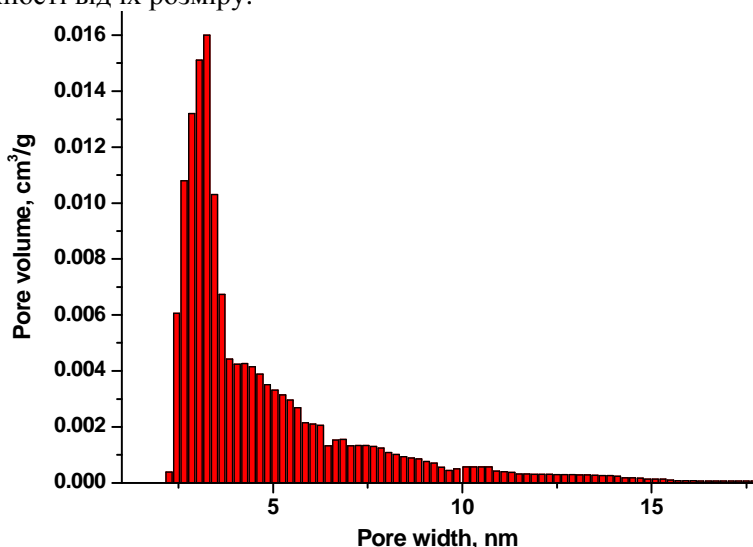


Рис. 3. Зв'язок між розміром пор та їх об'ємом

Так, з рис. 3 видно, що більшість пор у біосорбенті, розмір яких менше 5 нанометрів мають об'єм 0,006 – 0,016 см³/г. При цьому середнє значення розміру пор складає 3,169 нм.

Також було встановлено зв'язок між розміром пор та площею поверхні біосорбенту. Так з рис. 4 визначено питому площу поверхні біосорбенту, яка складає 90,4 м²/г.

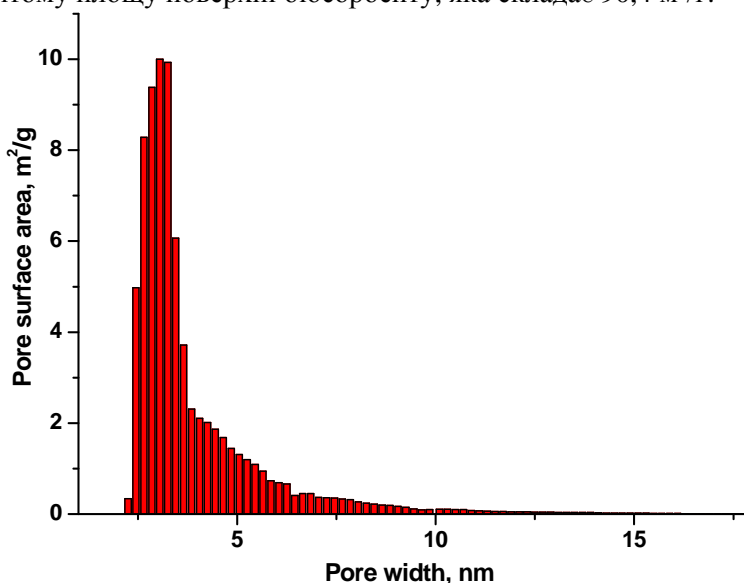


Рис. 4. Зв'язок між розміром пор та площею їх поверхні

Висновки:

- 1 В режимі термічного піролізу з осадів стічних вод отримано біосорбент.
- 2 Питома площа поверхні біосорбенту визначена на аналізаторі Quantachrome Autosorb NOVA 2200e і складає 90,4 м²/г, середнє значення розміру пор складає 3,169 нм.
- 3 Установа для експериментальних досліджень зразків ОСВ в режимі піролізу може стати базою для оцінки конструктивних параметрів промислових установок значної потужності для переробки і утилізації осадів стічних вод в режимі піролізу.

Література

- 1 Міністерство екології та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. –К.: – 2016. – 350 с.
- 2 Міністерство екології та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2015 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. К.: – 2017. – 308 с.
- 3 Івано-Франківська обласна державна адміністрація. Регіональна доповідь «Про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2014 році» / Департамент екології та природних ресурсів. Івано-Франківськ, 2015. – 240 с.
- 4 Технологічний регламент роботи станції аерації КП «Івано-Франківськводоокотехпром», 2012.
- 5 Технологічний регламент роботи станції аерації КП «Коломияводоканал», 2012.
- 6 Технологічний регламент роботи станції аерації ТОВ «Карпатнафтохім», 2012.
- 7 Евилевич А.З., Евилевич М. А. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988.
- 8 Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В. И. Техничко-экологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод. – Донецк: ИЕП НАН Украины, 2001. – 340 с.
- 9 Паенк Т., Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков // Водоснабжение и санитарная техника, 2003, №1. – С.35-41.
- 10 Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы/Региональное Энергетическое Партнерство - Санкт-Петербург, 2005 - [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://govorusa.com/books/evropeyskaya-praktika-obrascheniya-s-othodami>.
- 11 Карнаузов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 470 с.
- 12 Полторак О.М. Термодинамика в физической химии. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.

13 S. J. Gregg and K. S. W. Sing, Adsorption, Surface Area and Porosity, 2nd edition, Academic Press, New York, 1982, p. 121.

I. Zasidko

*State Agency of Water
Resources of Ukraine*

METHOD FOR OBTAINING BIOSORBENT AND STUDY OF ITS PROPERTIES

The problem of surface waters pollution with heavy metals and their accumulation in the sediments of wastewaters that are formed on the cleaning installations of municipal enterprises is the top priority in the area of environmental protection and resource saving. The absence of wastewaters sediments disposal and increase in their quantity in the active sludge banks lead to the expropriation of the new land sites for storage areas, pollution of underground waters and air while wastewaters sediments can be used as a secondary raw material after the additional processing aimed at reducing the toxic influence of heavy metals.

The author of article proposes the methods for obtaining biosorbent from wastewaters sediments using thermal pyrolysis and the methodology of its specific surface area study. For this purpose, the wastewaters sediments, after the previous processing by dehydration and grinding, are subjected to pyrolysis in the hermetically sealed container, which is isolated from air and connected hydraulically with pyrolysis process control block. In the process of pyrolysis, the wastewaters sediments are transformed into metals oxides which can be used as biosorbents. The biosorbent specific surface area was studied using the low temperature nitrogen absorption method.

Key words: disposal, heavy metals, thermal pyrolysis, biosorbent, pyrolysis process control block, specific surface area.

References

- 1 Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2014 rotsi / Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. – K.: – 2016. – 350 s.
- 2 Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini v 2015 rotsi / Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. K.: – 2017. – 308 s.
- 3 Ivano-Frankivska oblasna derzhavna administratsiia. Rehionalna dopovid «Pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ivano-Frankivskii oblasti v 2014 rotsi» / Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv. Ivano-Frankivsk, 2015. – 240 s.
- 4 Tekhnolohichniy rehlement roboty stantsii aeratsii KP «Ivano-Frankivskvodoekotekhprom», 2012.
- 5 Tekhnolohichniy rehlement roboty stantsii aeratsii KP «Kolomyiavodokanal», 2012.
- 6 Tekhnolohichniy rehlement roboty stantsii aeratsii TOV «Karpatnaftokhim», 2012.
- 7 Evylevych A.Z., Evylevych M. A. Utylyzatsiya osadkov stochnykh vod. – L.: Stroyzdat, 1988.
- 8 Drozd H.Ia., Zotov N.Y., Maslak V. Y. Tekhnyko-ekolohycheskye zapysky po probleme utylyzatsyy osadkov horodskykh y promyshlennykh stochnykh vod. – Donetsk: YEP NAN Ukrainy, 2001 – 340 s.
- 9 Paenk T., Zakonodatelstvo Evropeiskoho Soiuza v oblasti utylyzatsyy osadkov // Vodospobzhenye y sanytarnaia tekhnika, 2003, №1. – S.35-41.
- 10 Evropeiskaia praktyka obrashcheniya s otkhodamy: problemy, resheniya, perspektivy/Rehionalnoe Enerhetichesкое Partnerstvo - Sankt-Peterburh, 2005 - [Elektronnyi resurs] Rezhym dostupu: <http://govorusa.com/books/evropeyskaya-praktika-obrascheniya-s-othodami>.
- 11 Karnaukhov A.P. Adsorbtsiya. Tekstura dyspersnykh y porystykh materyalov. – Novosybyrsk: Nauka, 1999. – 470 s.
- 12 Poltorak O.M. Termodynamiya v fizycheskoi khymyy. – M.: Vysshiaia shkola, 1991. – 319s.
- 13 S. J. Gregg and K. S. W. Sing, Adsorption, Surface Area and Porosity, 2nd edition, Academic Press, New York, 1982, p. 121.

Д. В. Кулікова, О. С. Ковров
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Гальванічне виробництво відноситься до числа найбільш небезпечних. Оскільки підприємства характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів, складом розчинів та електролітів, широкою гамою деталей, що оброблюються, то й утворюються стічні води достатньо різноманітні як за якісним, так і за кількісним складом.

Діючі в країні цеха та ділянки побудовані за однією технологією та вирішують тільки задачу нанесення покриття або обробки поверхні металу, практично не враховуючи процесів видалення іонів важких металів зі стічних вод, утилізації гальванічних відходів і захисту навколишнього природного середовища. Багато підприємств до сих пір використовують старі та вже не ефективні процеси очищення, а іноді й не мають очисних споруд взагалі, що призводить до потрапляння неочищених і недостатньо очищених стічних вод в поверхневі водойми.

Кардинальне вирішення проблеми забруднення водних ресурсів полягає в розробці та впровадженні замкнутих водооборотних циклів і ресурсозберігаючих технологічних процесів, що дозволяють повертати цінні компоненти у виробництво, виключаючи скид забруднених стічних вод у водні об'єкти, що є економічно виправданим і екологічно перспективним.

Удосконалено існуючу технологічну схему очистки стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування на основі їхнього доочищення методом іонного обміну. Запропоновано на завершальному етапі очищення стічних вод встановити іонообмінні фільтри. Впровадження запропонованої вдосконаленої технологічної схеми очистки стічних вод значно знижує вміст сполук важких металів та інших забруднюючих речовин до нормативів якості води, що дозволяє створити на виробництві систему замкнутого водообороту, тобто повернути до 95% доочищеної води на власні виробничі потреби (приготування розчинів і електролітів, промивні операції тощо).

Ключові слова: вугільне машинобудування, гальванічний цех, стічні води, сполуки важких металів, іонообмінні фільтри, замкнутий водооборот

Постановка проблеми. Вугільне машинобудування є однією з ключових галузей гірничо-металургійного комплексу. Ці підприємства виготовляють гірничошахтне устаткування для всього технологічного циклу видобутку вугілля та електротехнічне обладнання до нього.

У вугільному машинобудуванні основними джерелами забруднення поверхневих водойм є процеси, що пов'язані з підготовкою та обробкою поверхні виробів хімічними та електрохімічними методами: травлення і гальванотехнічні процеси. При цьому, травильні та гальванічні відділення утворюють до 60% виробничо-технічних стічних вод.

Забруднені виробничі стоки становлять загрозу для стану водних об'єктів, тому що містять високотоксичні речовини, серед яких найбільш небезпечними є сполуки важких металів. Останні, потрапляючи в природні водойми і взаємодіючи з іншими елементами, утворюють надзвичайно токсичні сполуки, навіть незначні кількості яких можуть призвести до несприятливих наслідків для здоров'я людини і стану навколишнього середовища. Важкі метали, включаючись в харчовий ланцюг, здатні концентруватися в організмах до кількостей, які в сотні й тисячі разів перевищують їхній вміст в природному середовищі. Слід зазначити й те, що метали мають яскраво виражений ефект сумачії, через що спільна присутність кількох елементів підсилює їхню токсичну дію в кілька разів [1-3].

Питання запобігання забрудненню водойм стічними водами тісно пов'язані зі скороченням споживання води на технологічні потреби виробництва і, відповідно, скороченням скиду стічних вод. Один з найбільш раціональних способів для досягнення цієї мети – використання очищених стічних вод в обороті.

Керуючись економічними та екологічними міркуваннями можна організувати замкнутий водооборот промислового виробництва з поверненням до 85-95% очищених стічних вод. Тому кардинальне вирішення проблеми забруднення водних ресурсів полягає в розробці та

впровадженні замкнених водооборотних циклів і ресурсозберігаючих технологічних процесів, що є економічно виправданим і екологічно перспективним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств машинобудування присвячено багато наукових праць [4-18]. В основному всі роботи присвячені реагентним і сорбційним методам очищення стічних вод від іонів важких металів. До недоліків роботи очисних споруд гальванічного виробництва слід віднести великі витрати реагентів та економічні витрати на їхню закупівлю, потребу в значних площах для реагентного господарства, вторинне забруднення очищених стічних вод, неможливість забезпечення дотримання вимог граничнодопустимих концентрацій при скиді очищених стічних вод у водойми рибогосподарського призначення.

З аналізу літературних джерел, присвячених проблемам очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування, впливає що кожен із зазначених методів, поряд з позитивними сторонами, відрізняється специфічними недоліками, що обумовлює необхідність подальшого пошуку економічно раціональних і ресурсозберігаючих методів і технологій очищення забруднених іонами важких металів стічних вод. Розробка і впровадження нових технологій дозволять мінімізувати вплив забруднених стічних вод на водне середовище і якісно проводити їх очищення з метою повторного використання в технологічному циклі.

Постановка завдання. Метою роботи є удосконалення технологічної схеми очистки стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування на основі їхнього доочищення методом іонного обміну для зниження вмісту забруднюючих речовин до норм, що дозволяють знов повертати очищену воду в технологічний процес.

Виклад основного матеріалу. Гальванічне покриття металу – це прекрасний спосіб уникнути багатьох проблем та збільшити термін служби устаткування, агрегатів та інших пристроїв. Нанесення гальванічного покриття являє собою електрохімічний процес, при якому відбувається осадження шару металу на поверхні виробу [19].

Гальванічні покриття підвищують твердість і зносостійкість поверхні виробів, інструменту, відновлюють зношені деталі. Широко застосовуються для захисту від корозії і з метою декоративної обробки поверхні виробів.

Кожен технологічний процес гальванічного нанесення металевих покриттів складається з ряду окремих операцій. Після кожної операції виріб промивають у холодній проточній воді, а після обробки в лужних розчинах – послідовно в гарячій і холодній воді. На заключній стадії обробки виріб послідовно промивається в холодній і гарячій воді та сушиться.

Таким чином, гальванічне виробництво нерозривно пов'язане зі скидом відпрацьованих промивних вод. Питомі витрати води залежать від застосовуваного обладнання та коливаються в широкому діапазоні від 0,2 до 2,3 м³ на 1 м² оброблюваної поверхні [20].

Стічні води гальванічних виробництв поділяються на такі основні категорії [21]:

- 1) чисті, від охолодження технологічного обладнання (50-80% від загальної кількості стоків);
- 2) забруднені механічними домішками й маслами (10-15%);
- 3) забруднені кислотами, лугами, солями, сполуками хрому, цинку, міді, нікелю, ціану та іншими хімічними речовинами (50-80%);
- 4) відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) або емульсії (1-2%);
- 5) забруднені пилом вентиляційних систем і горілою землею ливарних цехів (10-20%);
- 6) поверхневі (дошові, талі, поливально-мийні).

Сполуки важких металів можуть перебувати в стічних водах практично всіх категорій, але найбільша їхня кількість знаходиться у водах третьої та четвертої категорій. Важкі метали можуть потрапляти в стічні води з технологічних розчинів, як продукти деструкції оброблюваних деталей і інструменту, при промиванні обладнання та виробів.

Стічні води третьої категорії утворюються в процесі хімічної та електрохімічної обробки виробів. Вони містять важкі метали переважно у вигляді хімічних сполук, як правило, розчинних.

Стічні води четвертої категорії утворюються при механічній обробці виробів. Основна маса важких металів знаходиться в них у вигляді дрібнодисперсних суспензій, але частина може перебувати у вигляді розчинних сполук.

Згрупувавши забруднення за характерними ознаками і специфічними способами їхнього знешкодження, стічні води гальванопокриття можна розділити на наступні потоки [22]:

- кислотно-лужні, концентровані та промивні (65-80%);

- хромовмісні (5-40%);
- ціановмісні (5-10%);
- фторовмісні (3-5%).

Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття за цією класифікацією наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття [22]

Група стічних вод	Основні технологічні процеси утворення стічних вод	Склад забруднень	pH
Кислотні	Попереднє травлення, кисле міднення, нікелювання, цинкування	H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃ , H ₃ PO ₄ та інші	<6,5
Лужні	Знежирювання	NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ та інші	>8,5
Стічні води, що містять солі важких металів	Поверхнева металообробка та нанесення гальванопокриття	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Al ³⁺ , Cu ²⁺ та інші	<6,5
Ціановмісні	Ціаністе міднення, цинкування, кадміювання, сріблення	KCN, NaCN, CuCN, Fe(CN) ₂ , [Cu(CN) ₂] ⁻ , [Cu(CN) ₄] ₃ , [Zn(CN) ₄] ²⁻ та інші	2,8-11,5
Хромовмісні	Хромування, пасивація, травлення деталей зі сталі та інше	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	2,3-8,8

Виходячи з даних табл. 1, можна зазначити, що кількісний і якісний склад стоків залежить від застосовуваної схеми й витрат води на промивання. Отже раціоналізація водоспоживання через вибір застосовуваного обладнання та схем промивання визначає об'єм, кількісний і якісний склад промивних і стічних вод, а, відповідно, і склад очисного обладнання, ефективність його роботи.

У сучасному виробництві використовується широка номенклатура технологічних процесів, пов'язаних з використанням води та утворенням забруднених стічних вод, основна маса яких не може бути скинута в міську систему каналізації або у водойми без попереднього очищення на локальних очисних спорудах.

На досліджуваному підприємстві здійснюється спільне очищення відпрацьованих розчинів і промивних вод, що утворюються при проведенні різних гальванічних операцій. Кількість гальванічних стічних вод складає 2880 м³/добу.

Вміст іонів важких металів у стічних водах становить (мг/л): міді – 11,27; нікелю – 0,94; цинку – 65,69; хрому – 2,57. Концентрації аніонів у стічних водах, відповідно, дорівнюють (мг/л): сульфатів SO₄²⁻ – 65; хлоридів Cl⁻ – 59; фосфатів PO₄³⁻ – 0,5.

На очисних спорудах виробництва застосовується реагентний сорбційно-гідролітичний метод знешкодження гальванічних стоків, заснований на застосуванні двохвалентного заліза, отриманого від одного з корпусів підприємства електрокоагуляційним методом.

Кислотно-лужні та хромовмісні стічні води надходять до усереднювача, звідки прямують до баків-реакторів (ємності каскадного очищення), куди додається коагулянт і повітря для перемішування стічних вод. У випадку відсутності відпрацьованого розчину хлориду заліза в ємності коагулянту, остання заповнюється двохвалентним залізом, що отримується за рахунок анодного розчину залізних електродів під впливом постійного електричного струму в електрокоагуляторі, в якому також здійснюється відновлення іонів хрому. З проміжної ємності (куди додається вапняне молоко для підлужування стоків і флокулянт для прискорення процесу осадження й укрупнення частинок) знешкоджені від солей важких металів стоки насосами надходять до відстійника.

Для зниження вологості осаду, що утворюється в процесі відстоювання, його направляють на барабанний вакуум-фільтр, після якого утворений фільтрат повертають у відстійник для подальшого осадження.

Отриманий шлам, що складається з суміші феритів міді, цинку, нікелю та хрому, з вологістю близько 70% (за масою), направляється на полігон для захоронення.

Відстояні знешкоджені стоки, пройшовши касетний фільтр, скидаються в міську систему водовідведення.

Величини концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах гальванічного виробництва, що пройшли очищення за існуючою технологічною схемою, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Концентрації забруднюючих речовин до та після очищення стічних вод гальванічного виробництва за існуючою технологічною схемою

Іон-забруднювач	Концентрація іона-забруднювача у воді, мг/дм ³ :		Тимчасово узгоджена концентрація іона-забруднювача у воді, що скидається в міську каналізацію, мг/дм ³
	до очищення	після очищення	
Cu ²⁺	11,27	0,1	0,005
Ni ²⁺	0,94	0,009	0,003
Zn ²⁺	65,69	0,7	0,030
Cr ³⁺	2,57	0,07	0,0001
SO ₄ ²⁻	65	65	100
Cl ⁻	59	59	101
PO ₄ ³⁻	0,5	0,5	0,2

Як видно з табл. 2, необхідний ефект очищення стічних вод гальванічного виробництва не досягається при роботі очисних споруд за існуючою технологічною схемою. До недоліків роботи очисних споруд підприємства за такою технологічною схемою слід віднести великі витрати реагентів та економічні витрати на їхню закупівлю, потреба в значних площах для реагентного господарства, вторинне забруднення очищених стічних вод. Крім того, існуюча технологічна схема не передбачає очищення стічних вод від аніонів.

Загальні вимоги до якості технічної води для приготування технологічних розчинів, електролітів і промивних операцій в гальванічному виробництві, способам її раціонального використання і застосування маловодних і маловідходних схем промивань встановлені відповідно до ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 [23]. Виконання вимог даного стандарту забезпечує скорочення витрат води, реагентів при знешкодженні гальванічних стоків і зниження навантаження на очисні споруди.

Технічна вода в гальванічному виробництві в залежності від галузі застосування поділяється на три категорії (табл. 3).

Таблиця 3

Напрями застосування технічної води в гальванічному виробництві [23]

Категорія води	Галузь застосування	Додаткові вказівки
I	Промивання деталей в операціях підготовки поверхні до покриття, крім II-ої та III-ої категорій	-
II	Приготування електролітів і промивання у всіх випадках, крім зазначених для вод III-ої категорії	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ої категорії
III	Приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах), складених на воді III-ої категорії, а також при спеціальних вимогах до якості і зовнішньому вигляді, для особливо відповідальних деталей	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ої та II-ої категорій

У гальванічному виробництві слід застосовувати системи багаторазового використання води, які в потрібних випадках забезпечують очищення води до необхідної якості і (або) рекуперацію цінних компонентів.

Виходячи з вимог, що пред'являються до якості технічної води для гальванічного виробництва, розроблена вдосконалена технологічна схема очистки стічних вод, що заснована на доповненні діючої технологічної схеми стадією доочищення методом іонного обміну.

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення зі стічних вод гальванічних виробництв солей важких, лужних і лужноземельних металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю,

кадмію тощо), вільних мінеральних кислот і лугів, а також деяких органічних речовин. Цей метод очищення дозволяє вилучати цінні речовини при високому ступені очищення води [24, 25].

Запропонована багатостадійна схема комплексного очищення стічних вод гальванічних виробництв включає традиційні, легко реалізовані, маловитратні методи, такі як:

- Реагентна обробка, як найпоширеніший спосіб очищення стоків, де двоступеневою реагентною обробкою здійснюється коригування рН гальванічних стоків для переведення важких металів в нерозчинну гідроокисну форму. При обробці стічних вод реагентами відбувається їхня нейтралізація та знебарвлення.

- Механічне очищення – флоатація, відстоювання, фільтрування. Метод дозволяє відокремити нерозчинні домішки, що утворюються. За вартістю механічні методи очищення відносяться до одних з найдешевших.

- Фільтрація води, що очищується, через напірні осадові, сорбційні та іонообмінні фільтри. На даній стадії з води видаляються завислі частинки, які залишилися, органічні сполуки, іони важких металів, нітрати, сульфати, хлориди тощо. Відбувається знесолення води та її знебарвлення.

- Збір і зневоднення шламів. Шлам збирається в поліпропіленові мішки та утилізується спеціальними підприємствами з утилізації.

Основна мета запропонованих методів – зниження вмісту важких металів до значень гранично допустимих концентрацій, що дозволяє здійснювати скид очищеної води в міську каналізацію або повернення очищеної води у гальванічне виробництво.

Удосконалену технологічну схему очистки стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну наведено на рис. 1.

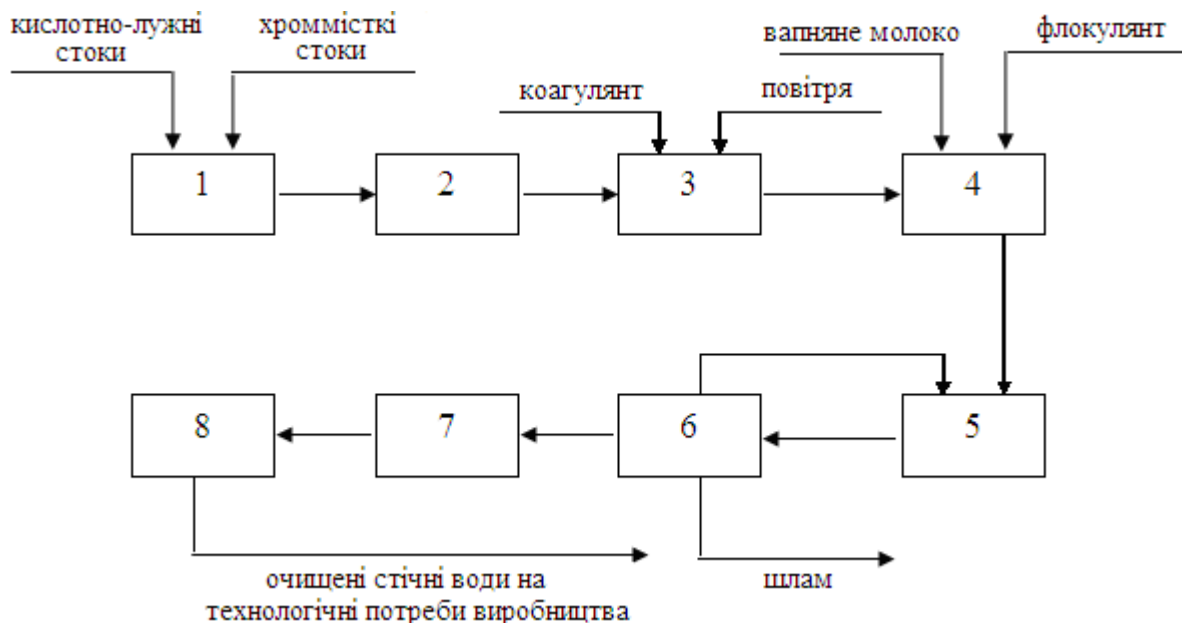


Рис. 1. Удосконалена технологічна схема очистки стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну (1 – усереднювач; 2 – електрокоагулятор; 3 – баки-реактори; 4 – проміжна ємність; 5 – відстійник; 6 – вакуум-фільтр; 7 – катіонітові фільтри; 8 – аніонітові фільтри)

Стічна вода після очисних споруд гальванічного підприємства подається на іонообмінні фільтри – катіонітові 7 і аніонітові 8, після яких знов повертається на очисні споруди. Для забезпечення необхідної якості води з метою її повернення в технологічний процес з найменшими капітальними та експлуатаційними витратами передбачається схема водопідготовки – доочищення на Н-катіонітових і ОН-аніонітових протиточних фільтрах за технологією *UP.CO.RE*.

У фільтрі, який працює за цією технологією, вода, що обробляється, рухається зверху вниз, регенераційні розчин – знизу вгору. Технологія має всі переваги протиточних технологій і в той же час позбавлена недоліків.

Описані властивості протиточних технологій і деякі інші, що тут не зазначені, забезпечують такі показники (в порівнянні з паралельно-точною технологією):

- зменшення кількості фільтрів, що експлуатуються, в 1,5-2,5 рази (швидкість фільтрування води до 40-50 м/годину);
- зменшення витрат реагентів приблизно в 2 і більше разів (питомі витрати кислоти 1,3-1,6 моль/моль, луѓи 1,4-1,5 моль/моль, натрій хлориду 1,2-1,3 моль/моль);
- збільшення майже в два рази робочої обмінної ємності фільтра за рахунок властивостей іонітів і можливості майже повністю заповнювати фільтр іонітом;
- зменшення витрат води на власні потреби приблизно вдвічі і, отже, зменшення вдвічі кількості стічних вод;
- нормативна якість очищеної води, що отримується при одноступінчатому фільтруванні, не гірше (а іноді навіть і краще), ніж при двохступінчатому фільтруванні.

В якості катіоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФПр, застосовується катіоніт марки КУ-2-8 [26, 27]. Катіоніт даного типу відрізняється механічною міцністю, осмотичною стабільністю і високою хімічною стійкістю до дії лугів, кислот, окислювачів. Не розчиняється у воді та органічних розчинниках. Неплавкий, негорючий, вибухобезпечний, неотруйний, радіоактивних і озонемісних речовин позбавлений. Стійкий до дії високих (110-120°C) температур. Його обмінна ємність мало залежить від рН середовища.

В якості аніоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФПр, застосовується аніоніт марки АВ-17-8 [28].

Для підвищення механічної очистки стічних вод доцільно використовувати сучасні високоефективні відстійники механічної очистки з ефективністю понад 90-97% за вмістом завислих речовин [29].

Величини концентрацій забруднюючих речовин в доочищеній воді за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою та відсоткове зниження кількості забруднювача у співвідношенні до його нормативних значень наведено в табл. 4 та рис. 2.

Таблиця 4

Концентрації забруднюючих речовин до та після очищення стічних вод гальванічного виробництва за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою

Іон-забруднювач	Концентрація іона-забруднювача у воді, мг/л		Норматив для технічної води III-ої категорії, згідно з [23], мг/л
	до очищення	після доочищення	
Cu ²⁺	11,27	0,001	0,02
Ni ²⁺	0,94	-	-
Zn ²⁺	65,69	0,007	0,2
Cr ³⁺	2,57	-	-
SO ₄ ²⁻	65	0,007	0,5
Cl ⁻	59	0,006	0,02
PO ₄ ³⁻	0,5	-	1,0

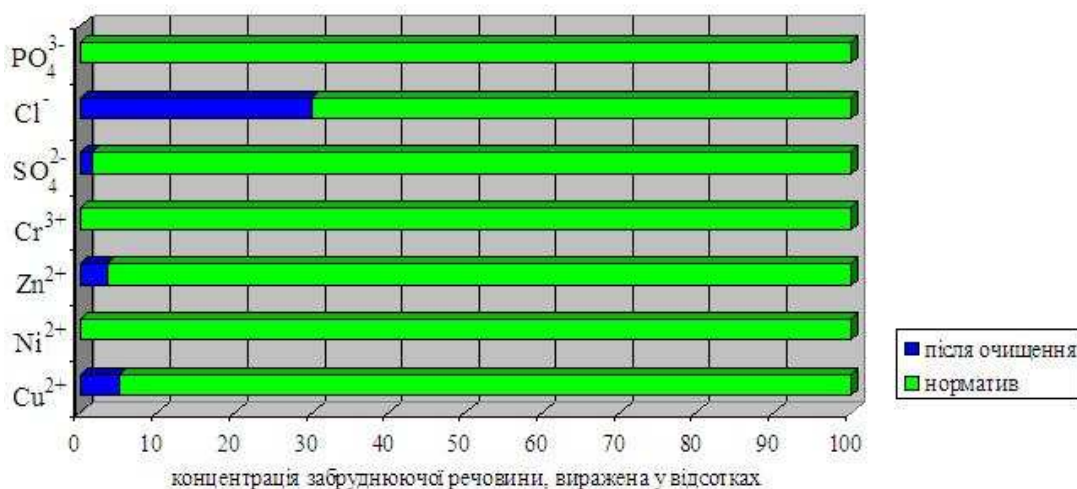


Рис. 2. Відсоткове зниження концентрації забруднюючої речовини у співвідношенні до її нормативного значення після вдосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічного виробництва

Виходячи з даних табл. 4, можна зробити висновок, що ефективність очищення стічних вод гальванічного виробництва на іонообмінних фільтрах від катіонів і аніонів складає 99,99% від вихідної концентрації іонів-забруднювачів. При цьому концентрація забруднюючих речовин після доочищення за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою не перевищує нормативів, які пред'являються до технічної води 3-ої категорії згідно зі стандартом ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Це дозволить створити на підприємстві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власні виробничі потреби буде повертатися до 95% очищеної води для приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах).

Висновки. У роботі вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технологічної схеми очистки стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування за рахунок встановлення на завершальному етапі очищення Н-катіонітових та ОН-аніонітових фільтрів. Впровадження запропонованої вдосконаленої технологічної схеми очистки стічних вод на підприємстві значно знижує вміст сполук важких металів та інших забруднюючих речовин до нормативів ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті», що дозволяє створити на виробництві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власні технологічні потреби повертається до 95% доочищеної води. Це значно знижує навантаження на навколишнє природне середовище. Крім того, підвищується рівень екологічної безпеки підприємства, оскільки виключається скид стічних вод до міських каналізаційних очисних споруд.

Література

- 1 Kulikova, D.V. & Pavlychenko, A.V. (2016). Estimation of ecological state of surface water ponds in coal mining regions as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 4:62-70.
- 2 Кулікова Д.В. Визначення рівня екологічної безпеки поверхневих водойм вугледобувного регіону за комплексом гідрохімічних показників якості води. *Екологічна безпека та природокористування*. 2016. №3-4. С. 70-80.
- 3 Kulikova, D.V., Kovrov, O.S., Buchavy, Yu.V. & Fedotov, V.V. (2018) GIS-based Assessment of the Assimilative Capacity of Rivers in Dnipropetrovsk Region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27(2):274-285. doi:10.15421/111851.
- 4 Kobya, M., Erdem, N. & Demirbas, E. (2014) Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using iron electrodes. *Desalination and Water Treatment*. 56(5):1191-1201. DOI:10.1080/19443994.2014.951692.
- 5 Большанина С.Б., Гурець Г.М., Балабуха Д.С., Міляєва Д.В. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 1. С. 114-118.
- 6 Сакалова Г.В., Свергузова С.В., Мальований М.С. Ефективність очистки сточних вод гальванічного виробництва адсорбційним методом. *Вестник БГТУ ім. В.Г. Шухова*. 2014. №4. С. 153-156.
- 7 Sawalha, H., Al-Jabari, M., Tamimi, I., Shahin, M. & Tamimi, Z. (2016) Characterization and Treatment of Wastewater from Galvanization Industry in Palestine. *International Journal of Environment & Water*. 5(3):37-44.
- 8 Исакова И.О., Ткачева В.Э. Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства. *Вестник технологического университета*. 2016. Т19. №10. С. 143-146.
- 9 Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Бобрик А.Г. Интенсификация процессов очистки сточных вод гальванического производства предприятий машиностроительного профиля. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. №4 (111). С. 178-186.
- 10 Latha, A. (2017) Treatment of Galvanized Waste Water by Membrane Distillation with Natural Adsorbent: A Review. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*. 04(03):4988-4993. DOI:10.18535/ijetst/v4i3.01.
- 11 Makisha, N. & Yunchina, M. (2017) Methods and solutions for galvanic waste water treatment. *MATEC Web of Conferences* 106, 07016. DOI:10.1051/mateconf/201710607016.
- 12 Al-Qodah, Z. & Al-Shannag, M. (2017) Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes: A comprehensive review. *Separation Science and Technology*. 52(2010). DOI:10.1080/01496395.2017.1373677.
- 13 Sezgin, N. & Balkaya, N. (2017) Removal of heavy metal ions from electroplating wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 93:257-266. DOI:10.5004/dwt.2017.21493.

14 Василенко О.А., Василенко Л.О. Гальванокоагуляція як універсальний метод очищення стічних вод від іонів важких металів. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2017. Вип. 28. С. 48-52.

15 Мовчан С.І., Болтянський О.В., Болтянська Н.І. Щодо питання очищення і знешкодження стічних вод гальванічного виробництва електрофлоотокоагуляційною установкою. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 91-98.

16 Witt, K. & Radzimska-Lenarcik, E. (2018) The recovery and the separation of metal ions from galvanic wastewaters. Desalination and Water Treatment. 128:148-154. DOI:10.5004/dwt.2018.22629.

17 Трус І.М., Гомеля М.Д., Мельниченко Є.В., Мігранова В.О. Очищення води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флоатацією. Технічні науки та технології. 2019. №1 (15). С. 204-213.

18 Петрушка І.М., Петрушка К.І. Очищення стічних вод від іонів нікелю. Collection of scientific papers Л'ОГОС. Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT-context. 2020. Volume 2. pp. 83-85.

19 Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению. М.: Техносфера, 2006. 216 с.

20 Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование. М.: Глобус, 2005. 240 с.

21 Найдено В.В., Губанов Л.Н., Кнохинов Б.И., Романов А.Ф., Зверев Ю.П. Научно-экономический анализ систем очистки сточных вод гальванических производств. Научно-технический отчет. Нижний Новгород: Межведомственный инженерный центр "Безотходная технология". 1993. 347 с.

22 Колесников В.А., Ильин В.И. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Механические и физико-химические методы очистки промывных и сточных вод: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. 220 с.

23 Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. №137. 376 с.

24 Яцков М.В., Корчик Н.М., Белікова С.В. Фізико-хімічні особливості процесу йонного обміну в комбінованих системах очищення стічних вод гальванічного виробництва. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. 2013. Вип. 3. С. 101-108.

25 Яцков М.В., Корчик Н.М., Кирилюк С.В. Кінетичні дослідження йонного обміну в системі «йоніт-розчин» при очищенні стічних вод гальванічного виробництва. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. 2014. Вип. 2. С. 293-300.

26 Гомеля М., Трохименко Г., Глушко О. Вплив іонів жорсткості на сорбцію важких металів на катіоніті. Технічні науки та технології. 2018. №1. С. 214-223.

27 ГОСТ 20298-74 Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия (Смоли ионообменные. Катіоніти. Технічні умови) М.: ИПК изд-во стандартов. 1974. 15 с.

28 ГОСТ 20301-74 Смолы ионообменные. Аниониты. Технические условия (Смоли ионообменные. Аніоніти. Технічні умови). М.: Госстандарт России. 1974. 24 с.

29 Kolesnyk, V., Kulikova, D., Kovrov, S. (2013). In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection "Mining of Mineral Deposits". CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Fransis Group, London, UK. P. 285-289.

D. Kulikova, O. Kovrov

National Technical University «Dnipro Polytechnic»

IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCEDURE FOR THE PLATING WASTEWATER TREATMENT OF COAL MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISES

Plating is considered to be one of the most dangerous industries. Since the enterprises are characterized by a wide range of technological processes, composition of solutions and electrolytes, and

processed mechanical parts, it results in producing wastewaters that are quite diverse in the qualitative and quantitative composition.

The plating plants and sites, operating in the country, are built according to the same technology and perform only the plating or metal-surface treatment, almost without taking into consideration the issues of removing heavy-metal ions from wastewater, plating waste disposal and environmental protection. Many enterprises still use out-of-date and no longer efficient processes for water treatment, and sometimes do not have any treatment wastewater facilities at all, which leads to the discharge of untreated and insufficiently treated wastewaters into surface watercourses.

The fundamental solution to the problem of water pollution consists in the development and implementation of closed water circulation and resource-saving technological processes that help to return valuable components into manufacture, excluding the discharge of polluted wastewaters into water bodies, which is economically and environmentally justified.

The existing technological procedure for the plating wastewater treatment of coal mechanical engineering enterprises has been improved on the basis of their post-treatment by the ion exchange method. It is proposed to install ion exchange filters at the final stage of wastewater treatment. The implementation of the proposed and improved technological procedure of wastewater treatment significantly reduces the content of heavy metal compounds and other pollutants according to the national water quality standards, which helps to create a closed water circulation system, and return up to 95% of polished water for the enterprise's production needs (preparation of solutions for electrolytes, flushing operations, etc.).

Key words: coal mechanical engineering, plating plant, wastewater, heavy metal compounds, ion exchange filters, closed water circulation.

References

- 1 Kulikova, D.V. & Pavlychenko, A.V. (2016). Estimation of ecological state of surface water ponds in coal mining regions as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 4:62-70.
- 2 Kulikova D.V. Vyznachennia rivnia ekolohichnoi bezpeky poverkhnevyykh vodoim vuhledobuvnoho rehionu za kompleksom hidrokhimichnykh pokaznykiv yakosti vody. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*. 2016. №3-4. S. 70-80.
- 3 Kulikova, D.V., Kovrov, O.S., Buchavy, Yu.V. & Fedotov, V.V. (2018) GIS-based Assessment of the Assimilative Capacity of Rivers in Dnipropetrovsk Region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27(2):274-285. doi:10.15421/111851.
- 4 Koby, M., Erdem, N. & Demirbas, E. (2014) Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using iron electrodes. *Desalination and Water Treatment*. 56(5):1191-1201. DOI:10.1080/19443994.2014.951692.
- 5 Bolshanina S.B., Hurets H.M., Balabukha D.S., Miliaieva D.V. Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnytstv sorbtsiinymy metodamy. *Ekolohichna bezpeka*. 2014. Vyp. 1. S. 114-118.
- 6 Sakalova G.V., Svergzova S.V., Malovanyiy M.S. Effektivnost ochistki stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva adsorbtsionnyim metodom. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. 2014. #4. S. 153-156.
- 7 Sawalha, H., Al-Jabari, M., Tamimi, I., Shahin, M. & Tamimi, Z. (2016) Characterization and Treatment of Wastewater from Galvanization Industry in Palestine. *International Journal of Environment & Water*. 5(3):37-44.
- 8 Ishakova I.O., Tkacheva V.E. Innovatsionnyie metody ochistki stochnykh vod sovremennogo galvanicheskogo proizvodstva. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2016. T.19. #10. S. 143-146.
- 9 Halturina T.I., Churbakova O.V., Bobrik A.G. Intensifikatsiya protsessov ochistki stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva predpriyatiy mashinostroitel'nogo profilya. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2016. #4 (111). S. 178-186.
- 10 Latha, A. (2017) Treatment of Galvanized Waste Water by Membrane Distillation with Natural Adsorbent: A Review. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*. 04(03):4988-4993. DOI:10.18535/ijetst/v4i3.01.
- 11 Makisha, N. & Yunchina, M. (2017) Methods and solutions for galvanic waste water treatment. *MATEC Web of Conferences* 106, 07016. DOI:10.1051/mateconf/201710607016.
- 12 Al-Qodah, Z. & Al-Shannag, M. (2017) Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes: A comprehensive review. *Separation Science and Technology*. 52(2010). DOI:10.1080/01496395.2017.1373677.
- 13 Sezgin, N. & Balkaya, N. (2017) Removal of heavy metal ions from electroplating wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 93:257-266. DOI:10.5004/dwt.2017.21493.

14 Vasylenko O.A., Vasylenko L.O. Halvanokoahuliatsiia yak universalnyi metod ochyshchennia stichnykh vod vid ioniv vazhkykh metaliv. Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky. 2017. Vyp. 28. S. 48-52.

15 Movchan S.I., Boltianskyi O.V., Boltianska N.I. Shchodo pytannia ochyshchennia i zneshkodzhennia stichnykh vod halvanichnoho vyrobnytstva elektroflotokoahuliatsiinoiu ustanovkoiu. Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 2017. Vyp. 17. T. 3. S. 91-98.

16 Witt, K. & Radzyminska-Lenarcik, E. (2018) The recovery and the separation of metal ions from galvanic wastewaters. Desalination and Water Treatment. 128:148-154. DOI:10.5004/dwt.2018.22629.

17 Trus I.M., Homelia M.D., Melnychenko Ye.V., Mihranova V.O. Ochyshchennia vody vid ioniv vazhkykh metaliv vidstoiuvanniam, nanofiltruvanniam ta flotatsiieiu. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. 2019. №1 (15). S. 204-213.

18 Petrushka I.M., Petrushka K.I. Ochyshchennia stichnykh vod vid ioniv nikeliu. Collection of scientific papers Л'ОΓΟΣ. Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT-context. 2020. Volume 2. pp. 83-85.

19 Gamburg Yu.D. Galvanicheskie pokrytiya. Spravochnik po primeneniyu. M.: Tehnosfera, 2006. 216 s.

20 Vinogradov S.S. Organizatsiya galvanicheskogo proizvodstva. Oborudovanie, raschyot proizvodstva, normirovanie. M.: Globus, 2005. 240 s.

21 Naydenko V.V., Gubanov L.N., Knohinov B.I., Romanov A.F., Zverev Yu.P. Nauchno-ekonomicheskii analiz sistem ochistki stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv. Nauchno-tehnicheskii otchet. Nizhniy Novgorod: Mezhdovedstvennyi inzhenernyi tsentr "Bezothodnaya tekhnologiya". 1993. 347 s.

22 Kolesnikov V.A., Ilin V.I. Ekologiya i resursoberezhenie v elektrohimicheskikh proizvodstvakh. Mehanicheskie i fiziko-himicheskie metody ochistki promyivnykh i stochnykh vod: uchebnoe posobie. M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2004. 220 s.

23 Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Dopustymi dozy, kontsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosfernomu povitri, vodi vodoimyshch, grunti» (DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000-2001). Postanova Holovnoho derzhavnogo sanitarnoho likaria Ukrainy vid 20.09.2001. №137. 376 s.

24 Yatskov M.V., Korchyk N.M., Bielikova S.V. Fyzyko-khimichni osoblyvosti protsesu yonnoho obminu v kombinovanykh systemakh ochyshchennia stichnykh vod halvanichnoho vyrobnytstva. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky. 2013. Vyp. 3. S. 101-108.

25 Yatskov M.V., Korchyk N.M., Kyryliuk S.V. Kinetychni doslidzhennia yonnoho obminu v systemi "ionit-rozchyn" pry ochyshchenni stichnykh vod halvanichnoho vyrobnytstva. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky. 2014. Vyp. 2. S. 293-300.

26 Homelia M., Trokhymenko H., Hlushko O. Vplyv ioniv zhorstkosti na sorbtsiiu vazhkykh metaliv na kationiti. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. 2018. #1. S. 214-223.

27 GOST 20298-74 Smoly ionoobmennyie. Kationity. Tehnicheskie usloviya (Smoly ionoobminni. Kationity. Tekhnichni umovy) M.: IPK izd-vo standartov. 1974. 15 s.

28 GOST 20301-74 Smoly ionoobmennyie. Anionity. Tehnicheskie usloviya (Smoly ionoobminni. Anionity. Tekhnichni umovy). M.: Gosstandart Rossii. 1974. 24 s.

29 Kolesnyk, V., Kulikova, D., Kovrov, S. (2013). In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection "Mining of Mineral Deposits". CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Fransis Group, London, UK. P. 285-289.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

УДК 581.57 : 630*27 (477.83)

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-107-114

*Г. А. Лусак¹, М. В. Біляк²,
Н. Є. Панас¹, О. Т. Мазурак¹*

¹*Львівський національний аграрний університет*

²*Яворівський національний природний парк*

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ЯВОРІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ

У представлених дослідженнях статті описуються туристично-рекреаційні екологічні проблеми, що виникають внаслідок інтенсивного використання рекреаційних ресурсів у природних парках та можливості їхнього захисту. Яворівський національний природний парк успішно здійснює природоохоронну, науково-дослідну, еколого-освітню та рекреаційну діяльність. На базі парку проходять міжнародні конференції, семінари. Вчителі проводять тематичні уроки на природі у форматі «*soft skills*», аспіранти пишуть дисертації, а викладачі ВУЗів проводять навчальні практики, наукові дослідження. Наявність шести еколого-пізнавальних стежок та чотирьох пішохідних туристичних маршрутів, дають можливість проводити екскурсії майже круглорічно. В парку активно використовуються 5 рекреаційних зон, які користуються великим попитом серед українських та закордонних туристів. Розвинений велотуризм. Встановлено [3], що скупчення великої кількості людей приводить до поступової деградації природних осередків, руйнування рослинного покриву, погіршення стану ґрунту, елімінації рідкісних видів рослин та збіднення біорізноманіття. У статті проаналізовано сучасний стан природних рекреаційних осередків Яворівського НПП та виявлено позитивні тенденції відновлення екосистем та саморегуляції природи до стану натуралізації. Проте, якщо у минулому році туристична сфера була пригнічена страхом людей перед пандемією, яка спричинена коронавірусом Covid-19, то наступний рік не прогнозується бути таким інертним: закордонні подорожі українці будуть використовувати обережно, а вітчизняний туризм набуде популярності. Представлено технології захисту лісових, водних рекреаційних об'єктів, рослинного і тваринного світу парків, заходи щодо зменшення негативного впливу на ґрунти. Внесені пропозиції щодо активізації екологічно культурного туристичного руху у Яворівському НПП. Рекомендовано керівникам рекреаційного відділу скеровувати працівників-екскурсоводів на курси підвищення кваліфікації, майстер-класи з виявлення можливостей модернізації екологічних шляхів та маршрутів. Внесено пропозицію місцевій владі розширити популяризацію рекреаційних ресурсів Розточчя, подавати екоосвіту туристів, як бренд туристичної діяльності парку та збільшити фінансування цієї сфери.

Ключові слова: рекреаційні об'єкти, локації, Яворівський НПП, технології захисту.

Постановка проблеми: Яворівський національний природний парк є на даний час місцем локації індивідуального, сімейного та групового відпочинку й оздоровлення. У зв'язку з пандемією, яка позбавила нас колективного живого спілкування, є життєва необхідність перебувати на свіжому повітрі. Власне організоване дозвілля невеликих груп екскурсантів допоможе підтримувати життєдіяльність цього природоохоронного об'єкту. Проте слід передбачати здійснення певних заходів захисту рекреаційних ресурсів від подальшого негативного впливу. Необхідно проаналізувати стан місць масового відпочинку у Яворівському НПП за останні роки і порівняти їх з теперішнім станом.

Метою дослідження є вивчення існуючих технологій захисту рекреаційних об'єктів у Яворівському національному природному парку та знаходження нових шляхів збереження біорізноманіття в місцях рекреаційних зон.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці парку М. В. Біляк [1], І. П. Любинець, О. Б. Годованець, М. С. Лазурко [5], С. М. Плесак, професорсько-викладацький склад Львівського національного аграрного університету Г. А. Лисак [6, 7], П. Р. Хірівський, Н. Є. Панас є постійними дослідниками стану рекреаційних ресурсів в ЯНПП. Вплив туристичної діяльності на рекреаційні зони вивчали і представляли у своїх наукових працях Г. В. Стрямець [8], О. О. Ястремська, Г. М. Заваріка [3]. Питання розвитку збалансованого туристичного господарства піднімалися в статтях А. П. Голод, Т. Л. Миронова, В. В. Шарко [9]. Рекреаційним навантаженням на природні зони відпочинку ЯНПП займалися кілька дослідників [Грицина М. Р., 2018]. З досвіду закордонних парків, Roztoczański Park Narodowy (Польща) рекреаційні зони облаштовуються в місцях, де відбувається денутаризація природних ландшафтів [11]. Відпочиваючі хочуть відчувати себе невід'ємною часткою аборигенної природи регіону.

Постановка завдання. За класифікацією С. Кахіла [11] негативний вплив рекреантів на відпочинкові місця можна виокремити в такі групи: надмірне використання природних ресурсів; засмічення довкілля; зміна ландшафтів та втрата біорізноманіття. Нами поставлено завдання проаналізувати на прикладі Яворівського парку локації активного відпочинку туристів і їхній вплив на водне середовище, лісові угруповання, ґрунт, рослинний і тваринний світ та запропонувати пропедевтичні технології захисту рекреаційних об'єктів, а також порівняти динамічні процеси рекреаційного руху за останні десять років в парку.

Метою дослідження є знаходження шляхів збереження біорізноманіття в місцях рекреаційних зон Яворівського національного природного парку.

Виклад основного матеріалу. Рекреаційна сфера Яворівського НПП відома далеко за межами Львівської області. Транскордонне розташування дозволяло приймати закордонних туристів та гостей з інших областей України. Наявність понад 10 екологічних стежок і маршрутів, викликало великий інтерес відпочиваючих до парку. Найбільше відвідувань за останні 10 років припадає на 2012 рік (табл. 1).

Таблиця 1

Статистика відвідування екологічних стежок та маршрутів Яворівського НПП

Назва стежки та маршрути	Роки (кількість відвідувань)										Всього
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Еколого-просвітницький центр	24	34	47	52	48	43	48	61	72	78	507
«Стежка Івана Франка»	6	16	25	25	23	4	13	14	22	25	173
«Верещиця»	15	10	12	10	5	4	6	8	1	7	78
«Головним Європейським вододілом»	4	0	1	1	-	-	-	-	-	-	6
«Лелехівка»	1	0	3	4	-	-	-	-	-	-	8
«Оселя Розточчя»	3	10	17	15	9	5	3	4	3	4	73
Сакральний комплекс Страдецької гори	19	34	28	17	11	10	7	5	-	-	131
«Крехівські святині»	18	14	8	7	6	2	1	-	-	-	56
«Вікова історія Янова»	1	0	4	2	1	-	-	-	-	-	8
«Яворівський військовий полігон: минуле та сучасність»	1	4	7	1	-	-	-	-	-	-	13
Всього	92	122	152	134	103	68	78	92	98	114	1053

Особливою популярністю користується еколого-просвітницький центр. Він включає музей історичних експонатів часів I, II Світової війни, виставковий зал, природоохоронні куточки, дендрологічний осередок та орнітологічний вольєр. У конференційному залі або на свіжому повітрі організуються сучасні розважальні заходи для відвідувачів: майстер-класи, презентації, змагання. Для школярів проводяться екологічні уроки, акції природоохоронної тематики: «Збережи красу весни», «Спалювання сухої трави – злочин проти природи», «Зустрічаємо лелек» та інші. Школярі беруть активну участь екоосвіті односельчан, виготовляють листівки, флаєра, розробляють тематику банерів.

Аналіз представників рекреантів, дає можливість відзначити не тільки контингент відвідувачів, але й встановити причини такого частого відвідування. З показників кількості туристів, явне домінування школярів (табл. 2). Недалека відстань від Львова (20 км), дозволяє учням Львівських шкіл відвідати ЯНПП (10 077 ос.). Також активними поціновувачами природно-заповідного об'єкту є учні шкіл Яворівського району (7173 ос.) [2].

Таблиця 2

Екскурсанти Яворівського НПП

Відвідувачі	Роки (кількість осіб)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	разом
Групи з Яворівського району	506	1169	656	616	363	220	299	533	179	2632	7173
Групи з м. Львова	654	588	697	647	1180	1160	1412	1504	1981	254	10077
Групи з Львівської обл.	-	40	260	275	513	230	252	88	222	684	3779
Іноземці	26	53	89	80	212	218	121	2	77	37	915
Групи з інших областей	291	462	34	55	135	39	95	112	192	123	1538

Рекреаційні зони «Верещиця», «Лелехівка», «Козулька», у літній період відвідують в основному з-за наявності водних ресурсів. Мальовничі ставки, добре прогріта вода і наявна туристична інфраструктура приваблює кількісну публіку. Особливо популярна у пляжно-купальний сезон рекреаційна локація «Верещиця»: тут наявна піщана пляжна смуга, аматорська ловля риби, облаштовані пікнікові майданчики, дитячі площадки, працює виїзне кафе. Проте велика кількість відпочиваючих спричиняє шумове забруднення, цвітіння води, нищення рослинного покриву, порушення режиму життя птахів і тварин [12].

Технологіями захисту водних рекреаційних об'єктів повинен бути моніторинг якості води шляхом здійснення заборів води кілька разів на день з проведенням лабораторного аналізу. Відповідно водойма повинна мати погоджений паспорт пляжу та відповідної якості води [4]. Слід дотримуватися нормування рекреаційного навантаження на цю зону із визначеною кількістю відпочиваючих на одиницю площі. А їх за визначеним рекреаційним навантаженням для озерного природного комплексу в літній період часу повинно становити 115 осіб на км² [Грицина М. Р., 2018]. В такому випадку відпочинок буде комфортним і безпечним для довкілля. Працівники парку постійно облагороджують цю територію: підсівають трави, облаштовують і прибирають регулярно урни для сміття, є вільний доступ до питної води та електроносіїв. Кількість рекреантів регулюється менеджером даної рекреаційної зони. За порушення дотримання санітарно-гігієнічних умов, завдання шкоди довкіллю передбачені штрафи. На інформаційних щитах можна ознайомитися з правилами відпочинку та отримати відомості про рідкісні рослини і тварини Розточчя. Природоохоронною технологією захисту вважається створення додаткового до рекреаційного осередку природного притулку водної та навколоводної біоти, такий собі «куточок тиші» серед відпочиваючих.

Менеджмент відпочинку у цій зоні передбачає поєднання купально-пляжної рекреації з іншими видами рекреаційних заходів. Тут щорічно проходять масові заходи «Йорданське святкування» (19 січня); екозахід «Стрітіння. Проводи зими – зустріч весни» (15 лютого); «Великдень кличе на забави»; етнофестиваль «Яворівська бавниця». Одночасно з вшануванням традицій, обрядів, звичаїв проводиться екоосвіта рекреантів.

В Яворівському НПП більше 90% складають лісові екосистеми. Природні лісові ландшафти Розточчя характеризуються унікальністю поєднання видів рослин трьох прилеглих регіонів: Поділля, Полісся і Карпат. Лісові ландшафти флори мають приналежність до Пан-Європейської екологічної мережі [10]. У заповідних зонах парку зростає 14 видів орхідей [6], а саме булатка великоквіткова (*Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce), довголиста (*Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch.) і червона (*Cephalanthera rubra* (L.) Rich.), гніздівка звичайна (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), зозулині сльози яйцеподібні (*Listera ovata* (L.) R. Br.), коручка широколиста (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz.), любка дволиста (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), любка зеленоквіткова (*Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb.), пальчатокорінники травневий (*Dactylorhiza majalis* (Reichenb.) P. F. Hunt et Summerhayes), Фукса (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo.), м'ясо-червоний (*Dactylorhiza incarnate* (L.) Soo.) і плямистий (*Dactylorhiza maculata* (L.) Soo.), коральковець тричінадрізаний

(*Corallorhiza trifida* Chatel), зозулині черевички справжні (*Cypripedium calceolus* L.). Співробітниками парку розроблені еколого-пізнавальні стежки та маршрути для відпочиваючих: «Головним Європейським вододілом», «Стежка Івана Франка», «Голуби», «Лелехівка», «Крехівські святині», «Верещиця» та інші. Екскурсанти відвідують ці місця найчастіше в період травня, червня або вересня і жовтня. На сьогоднішній час діють 6 маршрутів, які можна пройти пішки, проїхати на велосипеді або навіть подолати автомобілем. Попитом екскурсійних автобусів користуються туристи, відвідуючи сакральні рекреаційні локації: «Шляхами Розточчя від Янова до Крехова», «Страдч – Чорні озера», «Яворівські околиці», «Вікова історія Янова». Динаміка відвідування рекреантами говорить [2] про їх високу активність на «Стежці Івана Франка» (126 екс.), «Верещиці» (70 екс.), «Страдч – Чорні озера» (131 ексурсія). Всі вони проходять через лісові масиви.

Діаграма (рис. 1) вказує на велику кількість відвідувачів у 2012 році. Це пов'язано з розпорядженням голови Львівської обласної державної адміністрації Про Регіональну Програму екологічної освіти та виховання Львівщини на 2010-2014 рр. 6836 осіб відвідало тоді різні рекреаційні об'єкти парку.

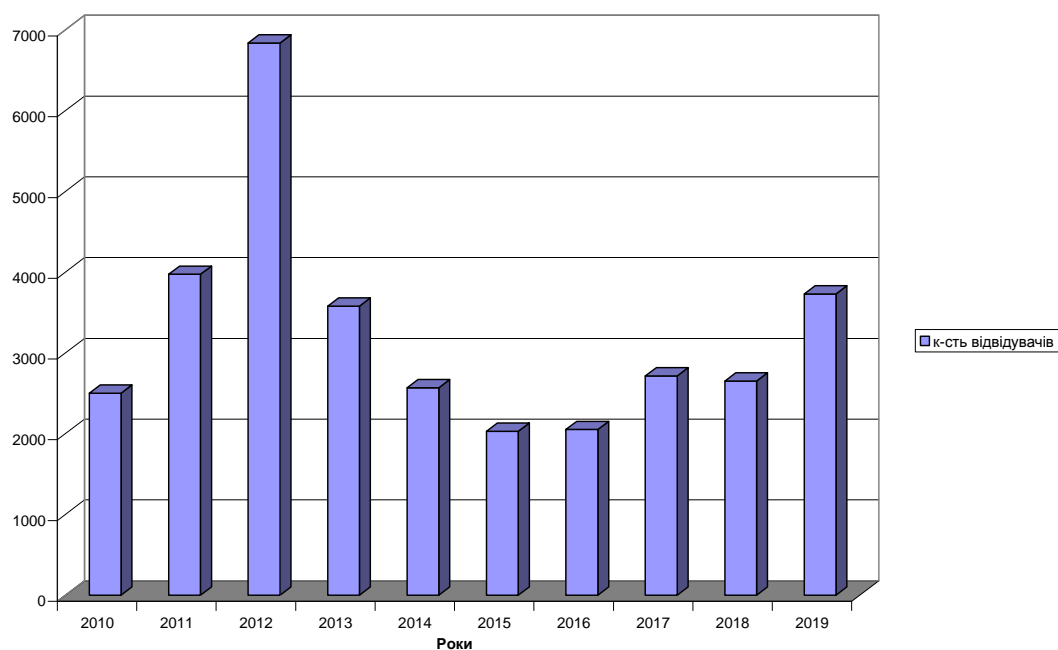


Рис.1. Динаміка відвідування Яворівського НПП екскурсійними групами, 2010-2019 рр.

Підвищення антропогенного навантаження якісно погіршують стан лісових екосистем, втрачається їхня природна естетична привабливість. Технологіями захисту лісових рекреаційних систем можуть стати ряд заходів, які будуть запобігати даному пресингу. До дієвих заходів можна віднести чітко продуманий, привабливий естетично маршрут, на якому встановлюються вказівники, наявна сучасна креативна агітація, зроблено акцент на правила поведінки на різних етапах маршруту. Передбачено оглядові майданчики, місця перепочинку, відпочинкові лавки, місця укриття від негоди і смітєві урни. Одночасно маршрут потрібно продумувати так, щоб туристи мали місця вільного спілкування з природою і не відчували себе обмеженими поведінковими правилами. Працівниками рекреаційних зон систематично повинно прибиратися захаращеність маршрутних стежок, нагляд за чистотою зон відпочинку, при потребі підсівання деградованого трав'яного покриву в місцях інтенсивного відпочинку.

Часте проходження одним маршрутом, навіть не чисельних груп рекреантів, збільшує рекреаційне навантаження на лісовий ґрунтовий покрив. Це в свою чергу змінює його показники вологості, пористості, густини твердої фази і веде до деградації рослинного покриву. Особливо це негативне явище проявляється в рекреаційній зоні «Верещиця». Наметові стоянки залишають по собі надмірно витоптаний ґрунт, купи сміття. Якщо є скупчення наметів, то надмірне ходіння навколо них призведе до збідніння не тільки рослинного, але й тваринного світу. Тому керівництво парку повинно організовувати зелені патрулі, які б слідували за розбиттям наметів на певній відстані один від одного, штрафними санкціями зупиняли хуліганські вчинки

відпочиваючих. Під час проходження стежною Івана Франка (рекреаційна зона «Лелехівка»), на шляху екскурсантів зустрічається «Біла гора» з якої відкриваються прекрасні краєвиди озерного краю. Самовільне підняття на цю гору спричиняє осипання порід та ерозійні процеси. Рекомендуємо дооблаштувати цей маршрут зручним підняттям екскурсантів на оглядову площадку через похилий схил.

На «Верешиці» щорічно проводяться тематичні святкування. У них беруть участь місцеві жителі прилеглих до парку сіл і міст. Вшановуються традиції, обряди Яворівщини, проводяться майстер-класи старовинних ремесел регіону: рогозоплетіння, виготовлення та розпис дерев'яної іграшки – забавкарства, ліплення гончарних виробів. До таких масових заходів відносяться «Йорданське святкування» (19 січня), екозахід «Стрітіння. Проводи зими – зустріч весни» (15 лютого), екозахід «Великдень кличе на забави», етнофестиваль «Яворівська бавниця» та інші. Такі заходи приваблюють не тільки місцевих мешканців, гостей з України, але й закордонних туристів. Позитивним є підтримання культурно-духовних цінностей Яворівщини, а негативним – стрес для доквілля від шуму. Технологіями захисту природи у цьому випадку, може бути розосередження місць розважальних локацій, запобігання скупчення великої кількості людей та контроль працівників парку за місцями розваг.

Не можна й оминати той фактор, що населення Західної України є більш релігійним і набожним. Менталітет населення пов'язаний з грішними і безгрішними вчинками. Довгий час церква не втручалася в екологічні проблеми, вважаючи ці питання вузькоспеціалізованими і світськими. Але після виходу у світ в 2015 році енцикліки Святішого Отця Франциска «*Laudato Si*» [9], християни почали розуміти, що природа навколо нас – це творіння Боже. Люди повинні дбайливо ставитися до творіння Божого так, як й до святих речей. Обговорення життя в стилі «еко» для християнина, це – піклування і догляд за доквіллям як своїм домом. Цей вагомий фактор впливу потрібно взяти на озброєння і скерувати на освітньо-виховну роботу серед місцевого населення, розробляти практичні проекти з участі церковних діячів для збереження і покращення стану доквілля. На катехитичних заняттях з молоддю можна вводити еколого-просвітницьку тематику щодо підвищення екологічної культури під час відпочинку на лоні природи. Рекомендуємо керівництву Яворівського НПП організувати семінар з участю представників церков ОТГ. Церква стане ініціаторкою збереження навколишнього природного середовища. Активні прихожани, душпастирі можуть організувати акції підтримки рекреаційних зон парку, зокрема Крехівської. До вірян, через церкву, можна донести, що навіть байдуже ставлення до дій, які чиняться проти природи – це «екологічний гріх». Природоохоронні позиції селян допоможуть знищити споживацькі бажання рекреантів нищити природну красу.

На території парку для туристів діє осередок «Оселя Розточчя». Його головне призначення – показати колорит місцевої культури, побуту, кухні, традицій. Вдало підібрані працівниками рекреаційного відділу розваги для відпочиваючих: катання на конях, спілкування з тарпанами, відвідування пасіки, майстер-класи місцевої кухні. Тут діє музей культури та побуту Яворівщини, можна самим виготовити яворівську іграшку, взяти участь у качанні меду, приготувати і скуштувати яворівські страви. Прекрасно збережене біорізноманіття рекреаційної зони, хоча й відбуваються масові заходи. Тут виявлені місцезростання червонокнижного виду гриба Квітохвісника Арчера (*Clathrus archeri* (Berk) Dring). Проте відвідувачів небагато, тому що інфраструктура доріг є занедбаною. Ремонт під'їзної дороги збільшить кількість відвідувачів «Оселі Розточчя» і стане дійсно осередком збереження культурних надбань регіону і аборигенної флори.

Узагальнюючи технологічні способи захисту рекреаційних ресурсів об'єкту досліджень, нами розроблена класифікація запропонованих заходів (табл. 3).

Висновок. Позитивне значення розвитку рекреаційної сфери на Яворівщині – незаперечне. Воно дає додаткові робочі місця місцевим жителям, розвиває інфраструктуру, підвищує імідж регіону, зберігає традиції краю. Яворівський парк має велику кількість рекреаційних об'єктів і хороших спеціалістів, які можуть кваліфіковано проводити екскурсії, організувати розважальні заходи, ефективно здійснювати природоохоронні заходи. Проте сучасні рекреанти потребують нових яскравих вражень, відповідно науково-рекреаційний відділ повинен скерувати своїх організаторів на курси підвищення власної майстерності. Вагаємо, що осучаснена екологічна стежка, з креативними інформативними матеріалами, QR-кодами, із захоплюючими повідомленнями індивідуальних аудіоекскурсій та іншими інноваціями, підвищить екологічну культуру відпочиваючих і буде однією з важливих технологій захисту рекреаційних ресурсів.

Запропонована класифікація технологій захисту рекреаційних ресурсів Яворівського НПП допоможе зберегти рекреаційні об'єкти природно-заповідного фонду і в інших відпочинкових місцях парків.

Таблиця 3

Класифікація технологій захисту рекреаційних ресурсів Яворівського НПП

Напрямки негативного впливу рекреантів на відпочинкові зони ЯНППП	Надмірне використання природних ресурсів	Засмічення довкілля	Зміна ландшафтів та втрата біорізноманіття
Перелік технологій захисту рекреаційних ресурсів	<ul style="list-style-type: none"> - акції природоохоронної тематики, щодо запобігання виснаження природних ресурсів; - регулярне санітарне прибирання загарцаних ділянок лісу в межах екологічних стежок; - репатріація рослин в рекреаційних зонах, підсівання трави; - розосередження відпочинкових локацій під час масових святкувань для запобігання шумового забруднення; - співпраця релігійних організацій з парком у форматі донесення населенню суті «екологічного гріха»; - підтримання місцевих традицій, фольклору. промислу Яворівщини для збереження яворових угруповань. 	<ul style="list-style-type: none"> - проведення школярами, студентами екоосвітної діяльності серед рекреантів у форматі майстер-класів, круглих столів, квестів; - виготовлення листівок, флаєрів з метою протидії негативних вчинків відпочиваючих; - світлини із засміченими місцями на інформативних дошках; - організація масового прибирання «Днів чистоти в природі»; - підвищення культури рекреантів шляхом модернізації маршрутів; - виступи працівників парку, модераторів у засобах масової інформації щодо протидії засміченості територій парку і довкілля. 	<ul style="list-style-type: none"> - нормування рекреаційного навантаження у зонах відпочинку, на екологічних стежках та маршрутах; - регулярний моніторинг науковців стану рідкісних рослин, тварин у прилеглих територіях до рекреаційних зон; - вивчення стану якості води під час купального сезону; - контроль за встановленням наметових стоянок на території парку; - заборона підняття на «Білу гору» не маршрутним шляхом з метою запобігання осипанню схилів; - покращення стану дороги до рекреаційного осередку «Оселя Розточчя».

Література

1 Біляк М.В., Годованець О.Б., Лазурко М.С. Активна рекреаційна діяльність: проблеми збереження природоохоронних територій. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу. Львів : ЛДУБЖД, 2019. С. 138-139.

2 Герців О.Р. Розвиток екотуризму та оцінка туристичного руху у Яворівському національному природному парку. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 20-річчю створення Яворівського національного природного парку. с.м.т. Івано-Франкове. Львів : ЗУКЦ, 2018. С. 245.

- 3 Заваріка Г.М. Туризм на охоронних природних територіях / Географія та туризм. 2014. Випуск 28. Електронний ресурс: Режим доступу http://tourlib.net/statti_ukr/zavarika.htm.
- 4 Закон України «Про туризм» затверджений Верховною Радою України від 11.02.2015.
- 5 Лазурко М.С., Плєсак С.М., Мірило З.Р. Еколого-просвітницька діяльність Яворівського НПП. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 20-річчю створення Яворівського національного природного парку. смт Івано-Франкове. Львів : ЗУКЦ, 2018. С. 284.
- 6 Лисак Г., Біляк Б., Годованець О., Любинець І., Хірівський П., Панас Н. Екотуристична рекреаційна діяльність Яворівського національного природного парку. Вісник ЛНАУ. Агронімія №23, 2019 р. С.28-33.
- 7 Лисак Г.А., Панас Н.Є. Мазурак О.Т. Значення Яворівського НПП у формуванні компетентностей екологічної освіти студентів та школярів. Збірник матеріалів Всеукраїнського зльоту учнівських виробничих бригад, трудових аграрних об'єднань закладів загальної середньої та позашкільної освіти «Формування підприємницької компетентності в умовах закладів загальної середньої та позашкільної освіти». 07-09 жовтня 2019 Львів. 2019. С.8-11.
- 8 Стрянець Г.В., Бовт Я.С. Біосферний резерват «Розточчя» як елемент національної та загальноєвропейської екомережі. Науковий вісник НУБіП України. 2012.Вип. 171. С. 203–208.
- 9 Святіший Отець Франциско Енцикліка «Laudato Si»: Про турботу про наш спільний дім. Київ-Івано-Франківськ-Дрогобич. Коло. 2019. 183 с.
- 10 Триснюк В. М. Інформаційні моделі екологічно-безпечного розвитку. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції “Екологічна безпека об’єктів туристично-рекреаційного комплексу” - 72 - природоохоронних територій. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). Poland, Warszawa, 2015. № 2. P.132- 137.
- 11 Guidelines and Best Practices for the Design, Construction and Maintenance of Sustainable Trails for All Ontarians / Trails for All Ontarians Collaborative. 2006. 309 p.
- 12 MAB (UNESCOs Man and the Biosphere Program). Biosphere Reserves world network. [Текст] UNESCO MAB secretariat., Paris, 2018.
- 13 Sych V. Nikolayeva O. The development of tourism in the zone of influence of international transport corridors in the Ukrainian Black Sea region. Scientific Letters of Academic Society of Michal Balusansky. Košice, 2016. Vol. 4, No. 6. P. 153-155.

¹*H. Lysak, ²M. Biliak,*
¹*N. Panas, ¹O. Mazurak*
¹*Lviv National Agrarian University*
²*Yavoriv National Nature Park*

PROTECTION TECHNOLOGIES OF THE RECREATIONAL RESOURCES OF YAVORIV NATIONAL NATURE PARK

The article describes the tourist, recreational and environmental problems that arise as a result of the intensive use of recreational resources in nature parks and the possibilities of their protection. Yavoriv National Nature Park (NNP) successfully carries out the environmental protection, scientific and research, environmental and educational, and recreational activities. International conferences and seminars are held at the park. Teachers conduct thematic lessons in nature in the “*soft skills*” format, postgraduate students write dissertations and university teachers conduct practical training and research activities. The presence of 6 ecological and educational trails and 4 hiking trails make it possible to organize tours almost all year round. The park actively uses 5 recreational areas, which are in great demand among Ukrainian and foreign tourists. Cyclotourism is well-developed. It has been established [3] that the accumulation of a large number of people leads to the gradual degradation of natural habitats, destruction of vegetation, deterioration of soil, elimination of rare plant species and depletion of biodiversity. The article analyzes the current state of natural recreational centers of the Yavoriv NNP and identifies positive trends in the restoration of ecosystems and self-regulation of nature to the state of naturalization. However, if last year the tourism sector was suppressed by people’s fear of a pandemic caused by the Covid-19 Coronavirus, next year is not expected to be so inert: Ukrainians will travel abroad carefully, and domestic tourism will become popular. The protection technologies of forest, water recreational objects, flora and fauna of parks, measures to reduce the negative impact on soils are presented. Proposals have been made to intensify the ecological and cultural tourist movement in the Yavoriv NNP. It is recommended that the heads of the recreation department direct the staff-guides to advanced training

courses, master classes on identifying the opportunities for modernization of ecological routes. A proposal was made to the local authorities to expand the promotion of recreational resources in Roztochia, provide eco-education to tourists as a brand of tourism in the park and increase funding for this area.

Key words: recreational facilities, locations, Yavoriv NNP, protection technologies.

References

- 1 Biliak M.V., Hodovanets O.B., Lazurko M.S. Aktyvna rekreasiina diialnist: problemy zberezhennia pryrodookhoronnykh terytorii. Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii Ekolohichna bezpeka obektiv turystychno-rekreasiinoho kompleksu. Lviv : LDUBZhD, 2019. S. 138-139.
- 2 Hertsiv O.R. Rozvytok ekoturizmu ta otsinka turystychnoho rukhu u Yavorivskomu natsionalnomu pryrodnomu parku. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoj 20-richchju stvorennia Yavorivskoho natsionalnogo pryrodnoho parku. s.m.t. Ivano-Frankove. Lviv : ZUKTs. 2018. S. 245.
- 3 Zavarika H.M. Turyzm na okhoronnykh pryrodnykh terytoriiakh / Heohrafiia ta turyzm. 2014. Vypusk 28. Elektronnyi resurs: Rezhym dostupu http://tourlib.net/statti_ukr/zavarika.htm.
- 4 Zakon Ukrainy « Pro turyzm » zatverdzheny Verkhovnoiu Radoiu Ukrainy vid 11.02.2015.
- 5 Lazurko M.S., Plesak S.M., Mirylo Z.R. Ekoloho-prosvitnytska diialnist Yavorivskoho NPP. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoj 20-richchju stvorennia Yavorivskoho natsionalnogo pryrodnoho parku. smt Ivano-Frankove. Lviv : ZUKTs, 2018. S. 284.
- 6 Lysak H., Biliak B., Hodovanets O., Liubynets I., Khirivskiy P., Panas N. Ekoturystychna rekreasiina diialnist Yavorivskoho natsionalnogo pryrodnoho parku. Visnyk LNAU. Ahronomiia №23, 2019 r. S.28-33.
- 7 Lysak H.A., Panas N.Ie. Mazurak O.T. Znachennia Yavorivskoho NPP u formuvanni kompetentnosti ekolohichnoi osvity studentiv ta shkoliariv. Zbirnyk materialiv Vseukrainskoho zlotu uchnivskykh vyrobnychkykh bryhad, trudovykh ahrarykh obiednan zakladiv zahalnoi serednoi ta pozashkilnoi osvity «Formuvannia pidpriemnytskoi kompetentnosti v umovakh zakladiv zahalnoi serednoi ta pozashkilnoi osvity». 07-09 zhovtnia 2019 Lviv. 2019. S.8-11.
- 8 Striamets H.V., Bovt Ya.S. Biosfernyi rezervat „Roztochchia” yak element natsionalnoi ta zahalnoievropeiskoi ekomerezhi. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. 2012.Vyp. 171. S. 203–208.
- 9 Sviatishyi Otets Frantsysko Entsyklika «Laudato Si»: Pro turbotu pro nash spilnyi dim. Kyiv-Ivano-Frankivsk-Drohobych. Kolo. 2019. 183 s.
- 10 Trysniuk V. M. Informatsiini modeli ekolohichno-bezpechnoho rozvytku. Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Ekolohichna bezpeka obektiv turystychno-rekreasiinoho kompleksu” - 72 - pryrodookhoronnykh terytorii. Wschodnioevropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). Poland, Warsawa, 2015. № 2. P.132- 137.
- 11 Guidelines and Best Practices for the Design, Construction and Maintenance of Sustainable Trails for All Ontarians / Trails for All Ontarians Collaborative. 2006. 309 p.
- 12 MAB (UNESCOs Man and the Biosphere Program). Biosphere Reserves world network. [Текст] UNESCO MAB secretariat., Paris, 2018.
- 13 Sych V. Nikolayeva O. The development of tourism in the zone of influence of international transport corridors in the Ukrainian Black Sea region. Scientific Letters of Academic Society of Michal Balusansky. Košice, 2016. Vol. 4, No. 6. P. 153-155.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Адаменко Ярослав Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Архипова Людмила Миколаївна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Біляк Михайло Васильович – директор Яворівського національного природного парку;

Глібовицька Наталія Ігорівна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Дядін Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

Засідко Ірина Богданівна – завідувачка сектором в Івано-Франківській області Державне агентство водних ресурсів України;

Ковров Олександр Станіславович – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Ковтун Тетяна Антонівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління логістичними системами і проектами Одеського національного морського університету;

Кривенко Галина Мирославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Кулікова Дар'я Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Лисак Галина Антонівна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології Львівського національного аграрного університету;

Лялюк-Вітер Галина Дмитрівна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Мазурак Оксана Тимофіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Львівського національного аграрного університету;

Новікова Анастасія Миколаївна – аспірант кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

Панас Наталія Євгенівна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології Львівського національного аграрного університету;

Плаксій Леся Василівна – асистент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Рібун Вікторія Степанівна – провідний фахівець кафедри хімії ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»;

Семчук Ярослав Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Сінченко Валерій Григорович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, інженер лабораторії «Токсикологічний, дослідницький, випробувальний центр фізико-хімічного аналізу та референс-лабораторій» ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України», м. Чернівці;

Челядин Володимир Любомирович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту металознавства імені Г. В. Курдюмова НАН України, м Київ;

Челядин Любомир Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Шкіца Леся Євстахіївна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної і комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Чичул Христина-Марія Миколаївна – магістр Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Яковлєв Валерій Володимирович – доктор геологічних наук, доцент, професор кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

2020 – № 2 (22)

РЕДАКТОРСЬКИЙ ВІДДІЛ

Редактор: Адаменко Я.О.

Літературний коректор:

Онуфрик Г. Я. (українська мова)

Стахмич Ю. С. (англійська мова)

**Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. +380 (342) 54-72-66, факс +380 (342) 54-71-39,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: admin@nung.edu.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2002 р.**

Підписано до друку 03.02.2021 р. Формат 60x90/8 Папір офсетний

Ум. друк. арк. 6,74 Тираж 300 прим. Замовл. № 8